CHARGEUR – DECHARGEUR à découpage « FLYBACK »

Index

CARACTERISTIQUES DU CHARGEUR 5

1. Types d'accu à charger 5
2. Alimentation du chargeur 5
3. Sortie du chargeur 5
4. Les paramètres modifiables du chargeur 5
5. Informations données par les mesures du chargeur 5
6. La liaison série RS232 6
6.1. Le protocole de communication : 6
7. Le boitier 6
8. Principe de fonctionnement : 6
8.1. Pourquoi choisir un transformateur ? 6
8.2. Inconvénient du transformateur : 6

MANUEL D'UTILISATION 8

9. Mise en marche du chargeur 8
10. Affichages des mesures du chargeurs 8
10.1. Affichage initial 8
10.2. Affichage du chargeur actif (pendant une charge ou décharge) 9
10.3. Affichage du chargeur en fin de charge, décharge 9
10.4. Affichage de l'action en cours du chargeur 10
11. Menu de lancement de charges, décharges 10
12. Menu d'interruption du processus en cours 11
13. Menu de modification des paramètres 11
13.1. Charge rapide (CR) 12
13.1.1. Choix du types d'accu à charger : NiCd, NiMh et Plomb 12
13.2. Charge lente (CL) 12
13.3. Décharge (D) 12
13.4. Changement de mode (un ensemble de paramètres) 13
13.5. Voir accu (mesures capacité) 13
13.6. Avancés 13
14. Messages d'erreurs 14

DESCRIPTION ELECTRONIQUE 15

15. Remarque sur les calculs 15
16. Fonctionnement de l'élévateur de tension 15
16.1. Mode avec flux continu : 15
16.2. Mode avec flux discontinu : 16
16.3. Mode critique : 16
16.4. Evolution du courant en fonction de la tension de sortie : 17
17. Calcul du transformateur 17
17.1. Calcul du rapport de transformation 18
17.1.1. Calcul du rapport de tranformation 18
17.2. Calcul de la self primaire : 19
17.3. Bobinage du transformateur 19
17.3.1. Transformateur N°1 : 20
17.3.2. Transformateur N°2 : 20
17.3.3. Transformateur N°3 : 21
17.4. Les pertes liées aux résistances des fils : 21
17.4.1. Calcul du courant dans le primaire : 21
17.4.2. Calcul du courant dans le secondaire : 21
17.4.3. Pertes dans le primaire : 22
17.4.4. Pertes dans le secondaire : 22
17.4.5. Perte primaire et secondaire 22
17.5. Le champ magnétique : 22
18. Le transistor de découpage 22

18.1. Courant commuté par le transistor : 22
18.1.1. Courant moyen *22*
18.1.2. Courant dans le transistor : *23*
18.2. Tension maxi aux bornes du transistor : 23
18.3. Puissance dissipée par le transistor 23
19. Circuit de limitation des surtensions 23
20. Le condensateur de découplage d'entrée 23
20.1. L'ondulation de tension : 24
21. Le condensateur de sortie 24
21.1. L'ondulation de tension : 24
22. La diode de redressement en sortie d'alimentation 24
22.1. Tension inverse maxi 24
22.2. Courant maximum 24
22.3. Courant moyen dans la diode 24
22.4. Puissance dissipée par la diode 24
23. Régulation du courant de charge par découpage 24
23.1. Le régulateur 24
23.2. La limitation en tension de sortie 25
23.3. La limitation du courant d'entrée primaire 25
23.4. La consigne de régulation du courant de charge 25
23.5. La commande marche-arrêt du découpage 25
23.6. La fréquence découpage 26
23.7. Puisssance dissipée par le shunt de charge 26
24. Régulation du courant de décharge (en linéaire) 26
24.1. Puisssance dissipée par le transistor de décharge 26
24.2. Puisssance dissipée par le shunt de décharge 27
24.3. La consigne de régulation 27
25. Contrôle de la tension de l'accu à charger ou à décharger. 27
25.1. Les calibres de mesure 27
25.2. La précision des mesures 27
26. Protections de la batterie 12V et de l'accu à charger/décharger 28
26.1. Alimentation du chargeur sur batterie 12 volts : 28
26.2. Branchement de l'accu : 28
26.2.1. Protection du montage des inversions de polarité de l'accu à charger : *28*
26.3. Les fusibles de protection 28
27. Le rendement théorique maxi du chargeur : 29
28. Le microcontrôleur PIC16F876 29
28.1. L'horloge 29
28.2. Les entrées analogiques 29
28.3. Les entrées-sorties utilisées 29
28.4. La programmation in-situ 29
29. Synoptique 31

LE PROGRAMME 33

30. Description du programme : 33
30.1. En l'absence de charge ou de décharge : 33
30.2. Charge ou décharge active 33
30.3. Contrôle DELTA-PEAK : 34
30.4. Contrôle SEUIL de DECHARGE 34
30.5. Contrôle tension batterie voiture 35
30.6. Contrôle température 35
30.7. Contrôle courant de charge ou de décharge 35
30.8. Mesure de la résistance interne de l'accu 35
30.9. Charge des accus au plomb 35

MISE AU POINT DU MONTAGE 36

31. Menu de contrôle pour la mise au point 36
31.1. Charge et Décharge : 36

31.2. Ventilateur : 36
31.3. Calibre de tension 36
31.4. Remise à zéro de l'eeprom 36
32. Résultats des essais : 37
32.1. En Charge : 37
32.2. En Décharge : 38
32.3. Caractéristique du courant de sortie en fonction de la valeur du PWM 38
32.4. Un exemple de courbes obtenuent sur le PC 39

INFORMATIONS ET DOCUMENTATION 41

33. Les accus 41
33.1. Les accus Ni-Cd 41
33.2. Les accus Ni-Mh 42
33.3. Les accus au plomb 43
34. Informations diverses : 44
34.1. Chargeurs réalisés par d'autres personnes : 44
34.2. Cours et documentation 44
34.3. Les alimentations à découpage 44
34.4. Les ferrites 44
34.4.1. Ferrites de « FERROXCUBE » 44
34.4.2. Ferrites de « EPCOS » 44

Caractéristiques du chargeur

1. Types d'accu à charger

On peut charger des accus **NiCd et NiMh** par delta-peak.

- L'arrêt par delta-peak peut être programmé de 5 mV à 35 mV par élément.

Il est aussi possible de charger des accus au **plomb** en « Floating ».

2. Alimentation du chargeur

- Tension	10 à 14 volts (Batterie voiture 12V)
- Courant	100mA à 15 ampères
- Protections	Par fusible et relais.

3. Sortie du chargeur

- Tension	0 à 28 volts
- Courant	100 mA à 6 ampères crête (en charge et en décharge)
- Protections	Par fusible et relais.

4. Les paramètres modifiables du chargeur

- Courant de charge rapide moyen	(0.1 à 6A)
- Courant de charge lente (ou maintien) moyen	(0.01 à 6A)
- Courant de décharge moyen	(0.01 à 6A)
- Courant de pointe de la charge pulsée	(0.1 à 6A)
- Valeur du delta-peak	(5 à 35mV)
- Seuil de fin de décharge	(0 à 99%)
- Durée de charge maxi en charge rapide	(0 à 100 heures)
- Durée de charge maxi en charge lente (ou maintien)	(0 à 100 heures)
- Temps de pause entre la charge et décharge ou inversement	(0 à 63 minutes)
- Mode pulsé en charge rapide	(Oui/Non)
- Mode pulsé en charge lente	(Oui/Non)
- Nombre de cycles de charges/décharges	(1 à 8)
- Fin de charge rapide avec ou sans maintien	(Oui/Non)
- Nombre d'éléments	(1 à 14 ou auto)
- Tension maxi par élément	(1.5 à 3 volts)
- Température d'enclenchement du ventilateur	(0 à 99°C)
- Température limite d'utilisation	(0 à 99°C)
- Tension minimale de l'alimentation batterie voiture	(9 à 14 volts)

Cela fait peut être beaucoup de paramètres à déterminer. Le choix est difficile et demande de bonnes connaissances sur le sujet. Je ne voulais pas prendre l'initiative de bloquer les valeurs, cela aurait facilité de beaucoup la réalisation du programme mais je préfère laisser le choix des réglages et la possibilité d'expérimenter éventuellement des accus.

5. Informations données par les mesures du chargeur

- Tension de l'alimentation batterie voiture
- Tension de l'accu

- Tension de peak (tension maxi mesurée)
- Courant moyen de charge ou décharge de l'accu (valeur mesurée)
- Température
- Résistance interne de l'accu
- Etat du chargeur (Charge, décharge, Arrêt…)
- Durée de charge, décharge (en heures, minutes, secondes)
- Capacité emmagasinée ou restituée de l'accu des 16 dernières opérations

6. La liaison série RS232

Le chargeur ne traite pas la réception. Il ne fait qu'envoyer les données des mesures effectuées.

6.1. Le protocole de communication :

- 9600 bauds
- 1 bit de start
- 8 bits de données
- pas de parité
- 1 bit de stop
- aucun contrôle de flux

Avant chaque série de données à transmettre, 3 octets sont transmis pour se synchroniser, ces valeurs sont D'241', D'239', D'240'

7. Le boitier

- Un écran Lcd 2 lignes de 16 caractères
- 4 boutons poussoirs
- Une sortie liaison série pour communication avec un PC (programme Excel pour enregistrer les mesures et visualiser la courbe de charge/décharge).
- Un radiateur pour dissiper la chaleur de décharge essentiellement.
- 2 ventilateurs (ventilateurs récupérés sur de vieux processeurs de PC).
- 2 broches d'entrée pour l'alimentation 12 volts (batterie voiture).
- 2 broches de sortie pour l'accu à charger-décharger.
- Dimensions de mon boîtier avec radiateur:
  (largeur x profondeur x hauteur) 210 x 220 x 75 mm

8. Principe de fonctionnement :

Ce chargeur utilise un transformateur pour convertir l'énergie prélevée sur la batterie voiture de 12V.

C'est un générateur de courant qui est réalisé à partir de ce transformateur avec une limitation en tension de 27 volts. Le courant peut être programmé de 0 à 6 ampères.

8.1. Pourquoi choisir un transformateur ?

Le choix d'un transformateur permet de disposer en sortie d'une tension qui peut varier de 0 à 24 volts de façon continue, et de pouvoir utiliser un transistor MOS canal N pour la commande de puissance du découpage. Les transistors Mos canal N sont plus faciles à trouver et le prix est très inférieur aux Mos Canal P.

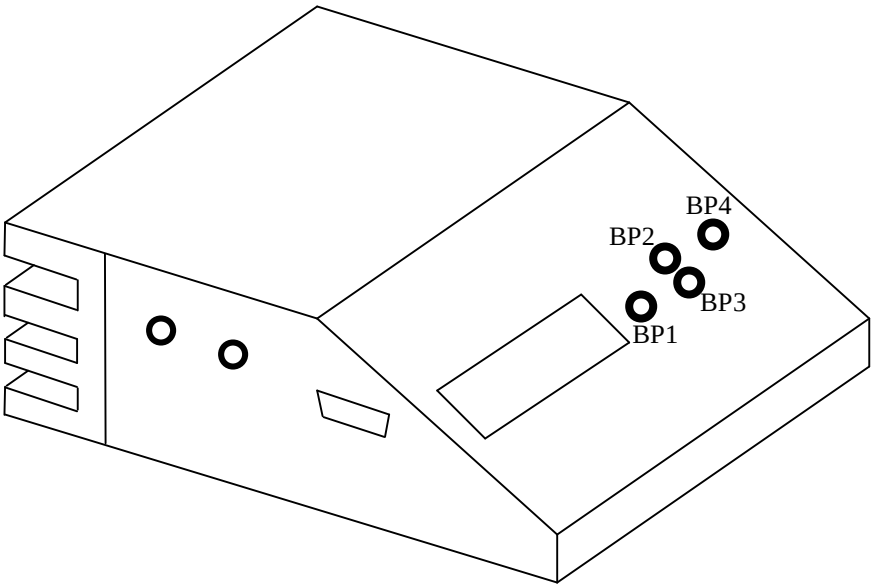
La conversion d'énergie est réalisée en une seule fois, il n'y a pas d'élévateur de tension suivi d'un deuxième dispositif de régulation du courant.

8.2. Inconvénient du transformateur :

L'inconvénient de ce choix est la fabrication du transformateur :

Si le couplage entre primaire et secondaire n'est pas bon, il y aura des surtensions qui peuvent entraîner la destruction du transistor de découpage ou réduire fortement le rendement du convertisseur. C'est le point délicat de cette réalisation mais c'est faisable.

MANUEL D'UTILISATION



9. Mise en marche du chargeur

- Dès la mise sous tension, on a un message de « Bienvenue » qui précise la version du logiciel puis l'adresse du site Internet du chargeur.
- Lors de la première mise sous tension, le message suivant force la Remise à zéro générale de la mémoire. Cette opération est réalisée dès qu'on appuie sur une quelconque touche, elle dure environ 1 seconde et le buzzer est actif durant l'action d'initialisation.
- Ensuite il est possible de choisir le modèle de charge, il s'agit des paramètres préenregistrés.
    - Le choix s'effectue en utilisant les poussoirs BP2 ou BP3
    - La validation est obtenue en appuyant sur BP1 ou BP4

  Le mode proposé à la mise sous tension est le dernier utilisé.

  NB : Il est aussi possible de changer de mode dans le menu paramètre.

10. Affichages des mesures du chargeurs

10.1. Affichage initial

Il indique les mesures suivantes :

- La tension aux bornes de la batterie de la voiture
- La température
- La tension aux bornes de l'accu
- La lettre « A » en bas à droite de l'afficheur signifiant : Arrêt.

10.2. Affichage du chargeur actif (pendant une charge ou décharge)

Il y a 3 ou 4 tableaux d'affichage durant la charge ou décharge qui défilent automatiquement toutes les 2 secondes.

- 1er tableau :
  - Tension et courant de l'accu (Out)
  - Capacité en mAh emmagasinée ou restituée
- 2e tableau :
  - Le temps écoulé pour l'action en cours
  - La température des transistors
  - La tension de la batterie voiture (In)
- 3e tableau :
  - Résistance interne (dès que la mesure est réalisée, c'est à dire en fin de charge rapide uniquement)
  - La tension de « peak » mesurée

- 4e tableau :

Lors de la charge de maintien, on a un quatrième tableau d'affichage qui précise que la charge est terminée est qu'on est en charge de maintien :

  - CHARGE TERMINEE << Maintien >>

Durant cet affichage, on a le buzzer qui est actif en permanence (si le paramètre dans charge lente est validé). L'arrêt du buzzer a lieu en arrêtant manuellement le chargeur en sélectionnant le menu d'interruption avec le poussoir BP4 ou quand la durée de charge lente est terminée.

Pour tous les tableaux d'affichages, on a une lettre en bas à droite qui précise l'action en cours A, R, L, D, r, l ou d (voir paragraphe affichage en cours du chargeur pour leur signification).

NB : Il est possible d'arrêter le défilement de cet affichage en appuyant sur les poussoirs BP2 ou BP3. Si on appuie à nouveau sur les poussoirs BP2 ou BP3, on peut faire défiler manuellement les tableaux d'affichage. Si on n'utilise pas les poussoirs BP2 ou BP3, au bout de 16 secondes, l'affichage se remet à défiler automatiquement.

10.3. Affichage du chargeur en fin de charge, décharge

Il y a 4 tableaux d'affichage qui défilent automatiquement toutes les 2 secondes. Dès que cet affichage est initialisé, le buzzer de fin de charge est actif. Le fait d'appuyer sur un quelconque poussoir désactive le buzzer sans effectuer d'autre action.

- 1er tableau :
  - Charge Décharge >> TERMINEE <<
- 2e tableau :
  - Durée de la dernière action du chargeur en heures, minutes, secondes
  - Valeur de la dernière Capacité enregistrée en mAh
- 3e tableau :
  - Valeur de la dernière mesure de résistance interne de l'accu en ohms
  - Valeur de la dernière mesure de tension de « peak »
- 4e tableau :
  - Tension de la batterie de la voiture
  - Température des transistors
  - Tension aux bornes de l'accu

NB : Il est possible d'arrêter le défilement de cet affichage en appuyant sur les poussoirs BP2 ou BP3. Si on appuie à nouveau sur les poussoirs BP2 ou BP3, on peut faire défiler

manuellement les tableaux d'affichage. Si on n'utilise pas les poussoirs BP2 ou BP3, au bout de 16 secondes, l'affichage se remet à défiler automatiquement.

Cet affichage sera remplacé par l'affichage initial dans le cas ou on déconnecte l'accu puis reconnecte un nouvel accu.

10.4. Affichage de l'action en cours du chargeur

Quelque soit l'affichage, l'action en cours est mentionnée sur l'afficheur en bas à droite par une lettre :

- **« A »** pour arrêt
- **« R »** pour charge rapide
- **« r »** pour pause après une charge rapide
- **« L »** pour charge lente
- **« l »** pour pause après une charge lente
- **« D »** pour décharge
- **« d »** pour pause après une décharge

NB : la lettre est en minuscule quand le chargeur est en pause.

11. Menu de lancement de charges, décharges

Quand l'affichage initial ou de fin de charge est présent, on peut accéder au menu de lancement de charges ou décharges en appuyant sur le poussoir BP4.

Ce menu permet de choisir les actions à réalisées :

- Charge rapide
- Charge lente
- Décharge
- Charge rapide suivie d'une charge de maintien (charge lente)
- Décharge, charge lente : jusqu'à 8 fois maximum.
- Décharge, Charge rapide : jusqu'à 8 fois, suivie d'une charge de maintien ou non.

Les poussoirs BP2 ou BP3 permettent de choisir la séquence à réaliser. La touche BP1 permet d'annuler le lancement.

- Pour la charge rapide, lente, décharge ou Charge rapide plus charge de maintien, la validation se fait dès que l'on appuie sur BP4
- Pour la décharge plus charge lente, on peut choisir jusqu'à 8 cycles de décharge/charge. Le fait d'appuyer sur le poussoir BP4 permet de déplacer le curseur sous le caractère qui indique le nombre de cycles. Avec les poussoirs BP2 ou BP3 on peut choisir le nombre de cycles. On peut annuler l'exécution en appuyant sur BP1.
  La validation est obtenue en appuyant sur le poussoir BP4.

- Pour la décharge plus charge rapide et maintien, on peut choisir jusqu'à 8 cycles de décharge/charge rapide. Le fait d'appuyer sur le poussoir BP4 permet de déplacer le curseur sous le caractère qui indique le nombre de cycles. Avec les poussoirs BP2 ou BP3 on peut choisir le nombre de cycles. Une nouvelle pression sur le poussoir permet au curseur de se déplacer sur le choix de la charge avec ou sans maintien (charge lente). Les poussoirs BP2 ou BP3 permettent de choisir « O » pour oui ou « N » pour Non. On peut annuler l'exécution en appuyant sur BP1.
  La validation est obtenue en appuyant sur le poussoir BP4.
-

Remarque : L'enchaînement d'une charge et d'une décharge ou d'une décharge et d'une charge peut être retardé par une pause programmable de 0 à 60 minutes. Cette pause est définie dans les paramètres « Avancés ».

12. Menu d'interruption du processus en cours

Ce menu permet d'interrompre la charge ou de passer à l'étape suivante suivant le cycle défini dans le démarrage du chargeur. La pause programmable de 0 à 60 minutes entre charge rapide et décharge ou inversement est comptée comme une étape.

L'accès à ce menu se fait en appuyant sur le poussoir BP4, on a le choix entre :

- Etape suivante
- Stop

Le choix se fait par les poussoirs BP2 ou BP3, il faut placer le curseur sur la ligne choisie.

Il est possible d'annuler cette opération en appuyant sur BP1. Cela aura pour effet de revenir à l'affichage précédent.

La validation est obtenue en appuyant sur BP4.

Les étapes possibles du chargeur sont :

- Arrêt
- Charge Rapide
- Charge Rapide en pause
  (la durée de la pause correspond au paramètre d'attente dans menu avancé)
- Charge Lente
- Charge Lente en pause
  (la durée de la pause correspond au paramètre d'attente dans menu avancé)
- Décharge
- Décharge en pause
  (la durée de la pause correspond au paramètre d'attente dans menu avancé)

13. Menu de modification des paramètres

Ce menu est accessible à partir de l'affichage des mesures en appuyant sut le poussoir BP1. L'accès peut se faire quand le chargeur est actif ou non.

Le choix de la section à modifier se fait avec les poussoirs BP2 ou BP3. On peut sortir du menu en appuyant sur BP1.

La validation de la section à modifier est réalisée en appuyant sur BP4.

Les sections de modification des paramètres sont :

- ð Charge rapide, Charge lente, Décharge, Changement de mode, Avancés, et une section de visualisation des mesures de capacité enregistrées : « Voir accu »

Une fois la section validée, on a accès aux paramètres. Le curseur clignote sous le caractère à modifier. Le caractère correspondant peut être modifié avec les poussoirs BP2 et BP3. Avec le poussoir BP4 on va déplacer le curseur sur le caractère suivant. Quand on arrive au dernier caractère du tableau, on revient sur le premier caractère et ainsi de suite.

Pour terminer les modifications, il faut appuyer sur le poussoir BP1. Cette action a pour effet de sauvegarder automatiquement en mémoire eeprom les paramètres modifiés et de revenir sur le menu de modification des paramètres.

Il y a deux types de paramètres :

- les paramètres communs à tous les modes de charge. Ils sont dans le menu « avancé » sur le deuxième tableau d'affichage :
  - Seuil de températures pour enclencher le ventilateur
  - Seuil de températures pour arrêter le chargeur
  - Seuil de tension basse de l'alimentation 12 volts voiture
  - Etalonnage de la température.

NB : dans ce menu on a la possibilité de faire une Raz des paramètres du mode en cours uniquement. Elle a pour effet de réinitialiser les paramètres par défaut.

- Les paramètres spécifiques à chaque modèle préenregistrés :
  - Tous les autres

13.1. Charge rapide (CR)

On peut définir :

- Le courant en charge rapide « I : »
- La valeur du delta-peak par pas de 5 mV (de 5mV à 35mV) « ^ : »
  NB : On peut aussi choisir avec ce paramètre la charge d'un accu au plomb, dans ce cas il n'y a pas de delta-peak. Et l'affichage indique « Plomb »
- La durée de charge maxi en heures, minutes « T : »
- Le choix d'une charge rapide en mode pulsé ou non « Pul : »

13.1.1. Choix du types d'accu à charger : NiCd, NiMh et Plomb

On peut charger des accus **NiCd, NiMh** par delta-peak.

L'arrêt par delta-peak peut être programmé de 5 mV à 35 mV par élément et cela par pas de 5 mV.

Il est aussi possible de charger des accus au **plomb** :

C'est le paramètre du « delta-peak » qui permet de sélectionner les accus au plomb.

Pour ce type d'accu, il est indispensable de définir le nombre d'éléments. Dans le cas contraire un message d'erreur s'afficherait lors de la mise en service du chargeur.

La fin de charge rapide est déterminée quand on atteint le seuil de tension maxi plus 0.1V par élément. Ensuite si on a validé la charge avec maintien, la charge se poursuit en maintenant un courant pour rester au voisinage de la tension maxi. Cette tension correspond à la tension de « floating » ou maintien.

NB : Pour les accus au Nickel, la tension maxi est une tension qui ne devrait jamais être atteinte, dans le cas contraire le chargeur arrête tout.

13.2. Charge lente (CL)

On peut définir :

- Le courant en charge lente « I : »
- L'activation du buzzer permanent en charge de maintien « Buz : »
- La durée de charge maxi en heures, minutes « T : »
- Le choix d'une charge lente en mode pulsé ou non « Pul : »

13.3. Décharge (D)

On peut définir :

- Le courant de décharge « I : »
- Le seuil de tension pour interrompre la décharge « Seuil : »
  Ce seuil est exprimé en %.
  - Il est calculé sur la base de 1.2 volts par élément si le nombre d'éléments est défini pour un accu Nickel.

- Il est calculé sur la base de 2 volts par élément si le nombre d'éléments est défini pour un accu Plomb.
- Dans le cas ou le nombre d'élément n'est pas défini, pour accu Nickel uniquement, le seuil est calculé par rapport à la tension maxi mesurée (U_peak).

13.4. Changement de mode (un ensemble de paramètres)

On a le choix entre 6 modes différents numérotés de 1 à 6 pour enregistrer les paramètres de charge, décharge d'un accu. Ce choix se fait avec les poussoirs BP2 ou BP3 quand le curseur se trouve sous le numéro du mode.

Il est possible de modifier le nom par défaut. Pour cela il faut appuyer sur BP4 pour passer sur le caractère à modifier. La modification se fait par les poussoirs BP2 ou BP3. En appuyant sur BP4 on va passer au caractère suivant et ainsi de suite. La validation est faite en appuyant sur BP1. Cette action aura pour effet de sauvegarder les changements et de charger les paramètres correspondant au mode choisi.

NB : Le mode ne peut pas être modifié si le chargeur est actif (charge ou décharge en cours). On ne peut dans ce cas que visualiser le mode.

13.5. Voir accu (mesures capacité)

Dans ce menu on peut consulter les 15 dernières mesures de capacité d'accu emmagasinées dans le cas d'une charge ou restituées dans le cas de la décharge.

NB : Lors de la charge de maintien, on n'enregistre pas la capacité liée à cette charge lente. (La charge de maintien est la charge lente qui suit une charge rapide)

L'affichage se présente sous la forme :

M01 R 1503mAh
M02 D 1275mAh

M01 indique le dernier enregistrement, M02 l'avant dernier et ainsi de suite.

La lettre « D » indique qu'il s'agit d'une décharge, « R » pour une charge rapide et « L » pour une charge lente.

La capacité est exprimée en milliampèreheure.

Les poussoirs BP2 et BP3 permettent de faire défiler tous les enregistrements de M01 à M16 (M16 étant le plus ancien des enregistrements) Les enregistrements sont du type FIFO.

Pour sortir de la visualisation il faut appuyer sur BP1

13.6. Avancés

Dans ce menu on a accès à 2 tableaux d'affichage.

Le poussoir BP4 permet de passer d'un caractère à l'autre et en fin de tableau, on passe automatiquement sur le tableau suivant pour revenir ensuite au premier tableau.

Sur le premier affichage, on peut définir :

- Le nombre d'éléments « Nel : »
  (facultatif pour le Nickel mais obligatoire pour le plomb)
- Le seuil de tension maxi par élément. « Umax : »
  L'accès à ce paramètre est valide seulement si le nombre d'éléments est défini.
- Le temps d'Attente entre Charge et décharge ou décharge et charge « At : »
  de 0 à 60 minutes.
- La valeur du courant de pointe pour la charge en mode pulsé « Ip : »

Sur le deuxième affichage, on peut définir :

- La température d'enclenchement du ventilateur « Tv : »
- La température maxi d'utilisation (température de coupure) « Tc : »

- Raz Cette réinitialisation affecte uniquement les paramètres du mode en cours. Pour activer cette fonction il faut appuyer simultanément sur BP2 et BP3 puis sur BP4 sans relâcher BP2 et BP3, ensuite on peut relâcher les poussoirs.
- La tension basse de l'alimentation batterie voiture « Uv : »
- Le réglage de la température suivant le capteur utilisé « T : »

14. Messages d'erreurs

Batterie absente (I_decharge=0)

Ce message s'affiche si on mesure un courant nul pendant une décharge.

Batterie absente (I_charge=0)

Ce message s'affiche si on mesure un courant nul pendant une charge.

Alerte : Courant dech>>

Ce message s'affiche si on mesure un courant trop élevé pendant une décharge (supérieur à 25% de la consigne +150 mA).

Alerte : Courant charge>

Ce message s'affiche si on mesure un courant trop élevé pendant une charge (supérieur à 25% de la consigne +150 mA).

Alerte : Batterie Alim 12V <HS>

Ce message s'affiche si on mesure une tension de batterie voiture inférieure au seuil défini dans « avancé » ou si la tension est supérieure à 16 volts.

Alerte : Surchauffe

Ce message s'affiche si on mesure une température supérieure à la température maxi d'utilisation dans « avancé »

Arret Surtension ou mauvais Nel

Ce message s'affiche si on mesure une tension supérieure au seuil calculé par la formule : [Nombre d'éléments * Umax par élément] (paramètres dans « avancés »). Il est très probable que le nombre d'éléments soit incorrect.

DESCRIPTION ELECTRONIQUE

15. Remarque sur les calculs

Hypothèses de départ pour les calculs :

Tension d'entrée = 12 volts

Tension de sortie maxi = 24 volts et un courant associé maxi de 6A

=> Ps_max=144W

Pe_max = Ps_max + pertes = 144W + pertes

=> Courant moyen maxi d'entrée = 12 A +pertes

Le montage est calculé pour fonctionner avec une fréquence de découpage de 25 KHz, soit une période de 40µs

NB : ces valeurs étaient initialement prévues avec un courant de sortie de 3A, une fréquence de découpage de 10KHz et un rapport cyclique de commutation maxi de 50%. Cela explique certaines valeurs adoptées dans un premier temps pour les essais sur le transformateur en particulier.

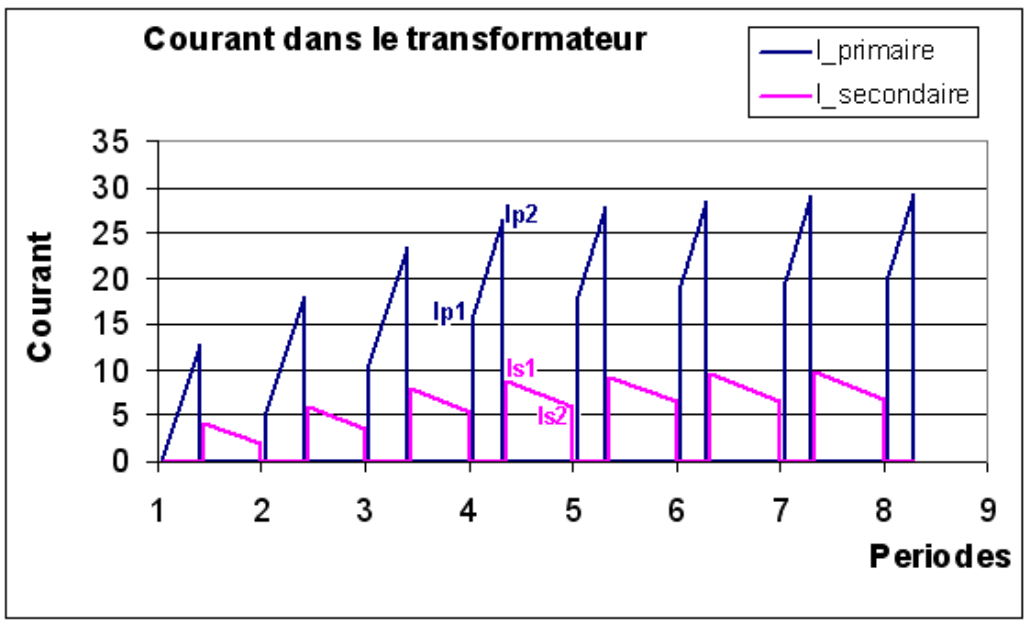
16. Fonctionnement de l'élévateur de tension

Le principe consiste à emmagasiner de l'énergie dans le transformateur par le primaire puis de la restituer avec le secondaire. Le transistor de découpage laisse passer le courant dans le primaire de l'instant 0 à l'instant t_1 puis reste ouvert jusqu'à la fin de la période T.

3 cas se présentent :

16.1. Mode avec flux continu :

A la fin de la période T le courant dans le secondaire ne s'annule pas.



En régime stabilisé, on a les relations :

Ip1 = Is2 * Ns/Np

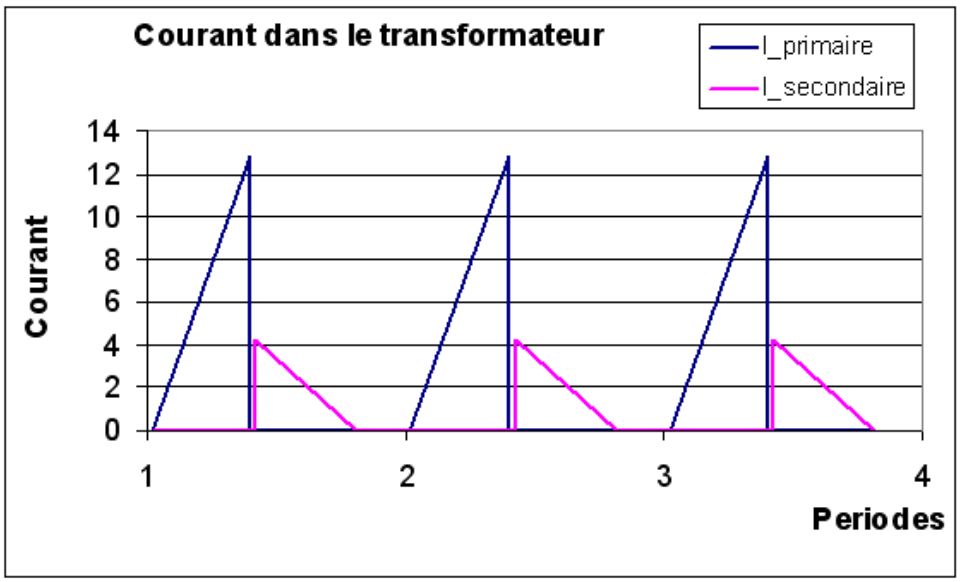
Is1 = Ip2 * Np/Ns

Dans la pratique c'est ce cas qui s'applique. Il en résulte que : la valeur de la self du transformateur et la fréquence de découpage n'interviennent pas dans la conversion d'énergie, seulement le rapport de transformation.

Il suffit donc de réaliser un transformateur avec un nombre de spires suffisant tout de même car les pics de courants sont eux liés à la valeur de la self.

16.2. Mode avec flux discontinu :

Le courant dans le secondaire s'annule avant la fin de la période T

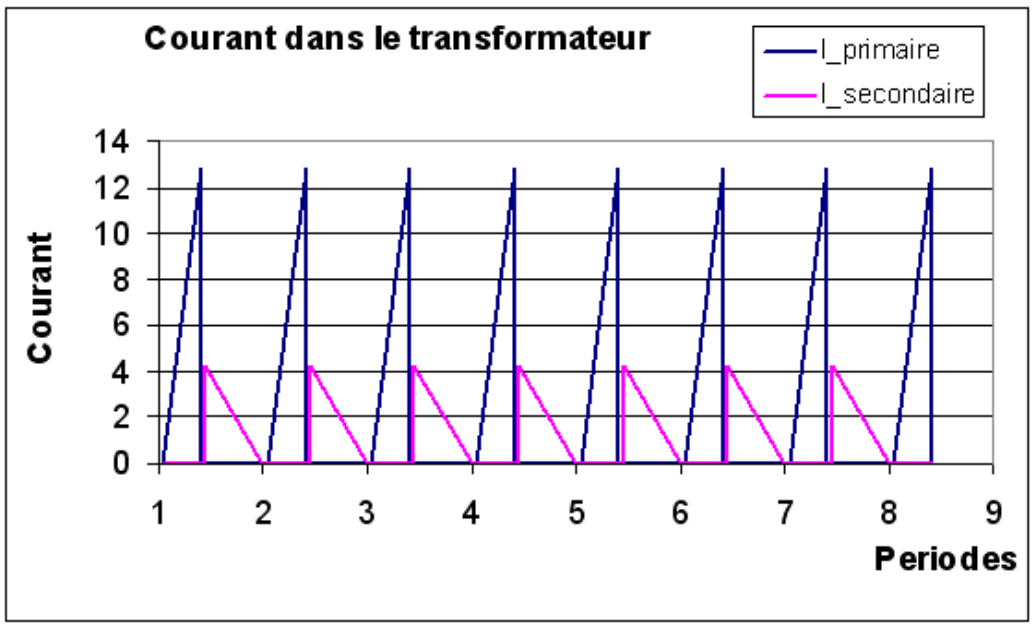


16.3. Mode critique :

Le courant dans le secondaire s'annule à la fin de la période T.

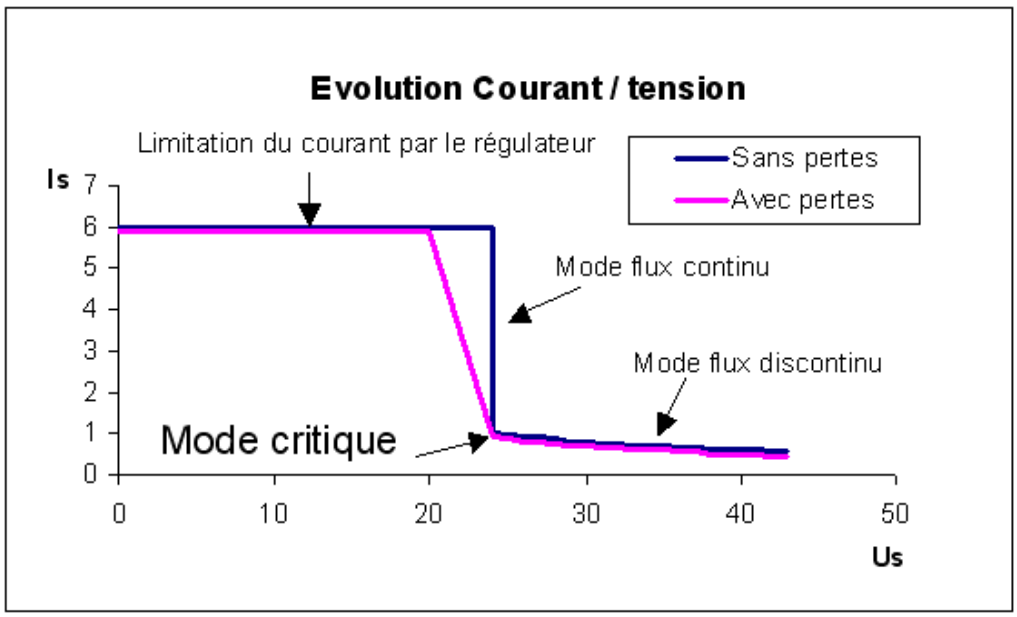
Le courant dans le primaire croit linéairement de 0 à Imax entre les instants 0 et t_1 et le courant dans le secondaire décroît linéairement de Ismax à 0 entre les instants t_1 et T.

C'est ce mode qui sert aux calculs.



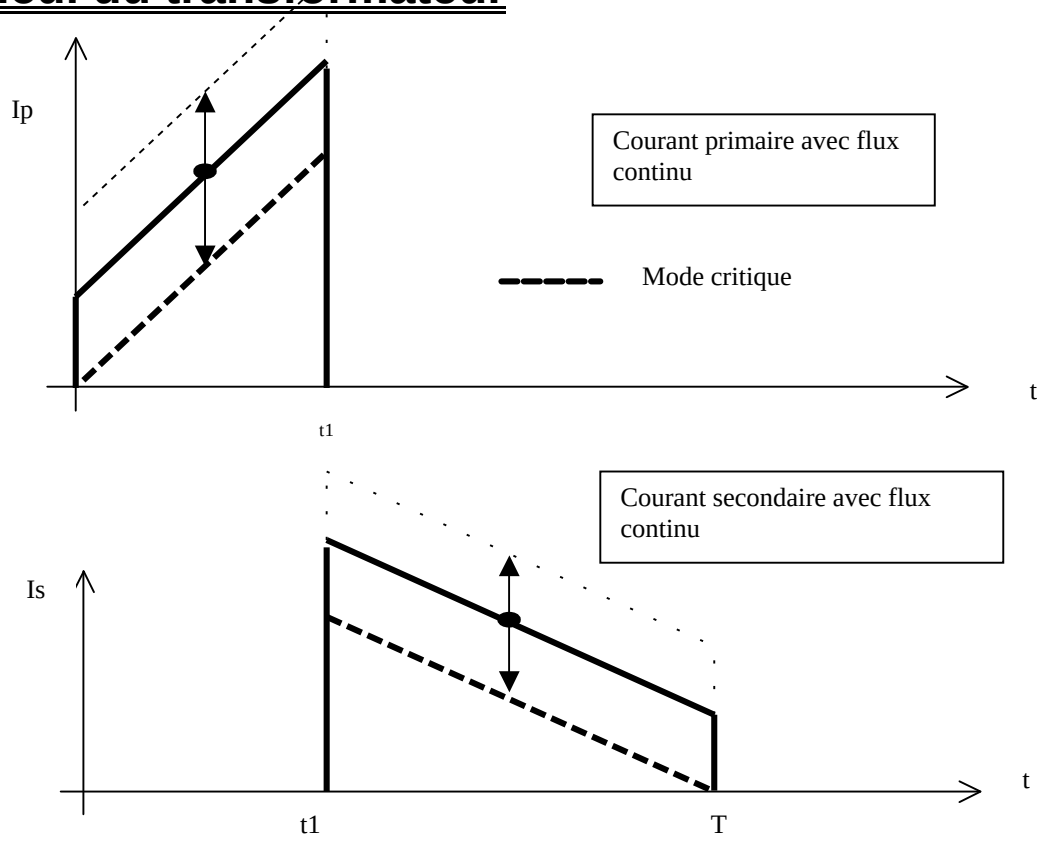
16.4. Evolution du courant en fonction de la tension de sortie :

Le courant Is représente le courant moyen de sortie du secondaire. La tension Us représente la tension moyenne de sortie après redressement.



La courbe « sans pertes » est caractéristique d'un transformateur parfait, la tension de sortie est définie par la tension d'entrée et du rapport de transformation. Le courant de sortie n'intervient pas, ce qui n'est pas le cas avec les pertes.

17. Calcul du transformateur



17.1. Calcul du rapport de transformation

17.1.1. Calcul du rapport de tranformation

Np = nombre de spires primaire
Ns = nombre de spires secondaire
Ie = courant d'entrée
Is = courant de sortie
Ue = tension d'entrée
Us = tension de sortie

Si on considère le cas ou le rapport cyclique max n'est pas égal à 50% et que le courant s'annule en fin de période :

Le courant dans le primaire varie de 0 à Iemax entre [0 et t1]
Le courant dans le secondaire varie de Ismax à 0 entre [t1 et T]

Suivant le rapport de transformation Np/Ns on peut déduire que
Ismax = (Np/Ns)* Iemax

Le courant moyen de sortie est Ismoy = ½ Ismax $(T-t_1)/T$

D'ou Ismax = Ismoy*2T/$(T-t_1)$

Et Iemax = Ismoy*(Ns/Np)*2T/$(T-t_1)$

L'énergie d'entrée est $We = \int_0^{t1} Ue*Ie*dt = (Ue*Iemax/t_1)*\int_0^{t1} t\,dt$

We = (½ Ue*Iemax/t_1)* t_1^2
We = ½ Ue*Iemax* t_1
We = ½ Ue* t_1* Ismoy*(Ns/Np)*2T/$(T-t_1)$

L'énergie de sortie est $Ws = \int_{t1}^{T} Us*Is*dt = Us*Ismax/(T-t1)\int_{T-t1}^{T} t\,dt$

Ws = ½ Us*Ismax* $(T-t_1)^2$
Ws = ½ Us* $(T-t_1)^2$* Imoy*2T/$(T-t_1)$

La conservation de l'énergie nous donne We = Ws (dans le cas ou il n'y a pas de perte) et on déduit :
½ Ue* t_1* Ismoy*(Ns/Np)*2T/$(T-t_1)$ = ½ Us* $(T-t_1)^2$* Imoy*2T/$(T-t_1)$

Soit : Ue* t_1 (Ns/Np) = Us * $(T-t_1)$

$$\frac{Ns}{Np} = \frac{Us}{Ue} * \frac{T-t_1}{t_1}$$

La tension de sortie dépend de la tension d'entrée, du rapport de transformation du transformateur et du temps de conduction t_1, mais pas des valeurs de self, ni du courant de sortie.

Si on prend un rapport cyclique de 50% ($t_1 = T/2$)

Ue = tension d'entrée (12 volts)
Us = tension maxi de sortie (24 volts)
Ns = Np * Us/Ue
=> Ns = 2 Np

Si on prend un rapport cyclique de 40% maximum :
Ue = tension d'entrée (12 volts)
Us = tension maxi de sortie (24 volts)
Ns = Np * Us/Ue * (0.6 / 0.4)
=> Ns = 3 Np

Plus le rapport du nombre de spires est élevé, plus on pourra obtenir une tension de sortie élevée.

Cependant, plus le rapport du nombre de spires est élevé, plus les pointes de courant en entrée seront élevées et moins le rendement sera bon, même pour des tensions faibles en sortie.

En pratique le rapport cyclique maximum est de l'ordre de 41 à 45 %. Pour **compenser les pertes, 40% est une bonne valeur pour les calculs, donc Ns=3Np**.

17.2. Calcul de la self primaire :

$E=L\frac{di}{dt}$

avec E = Ue = 12V et L la valeur de la self

$di = \frac{E}{L} * dt$

$=> i(t) = \frac{E}{L} t$ (car E = constante)

Ie_max= i(0.4T)

$Ie\_max= \frac{E}{L} *0.4T$

=> *L= 0.4*T** E / *Ie_max*

Si on prend F=25KHz (T=40µs), Ie_max=40 ampères et E=12 volts
On aura $L= (0.4*25*10^{-3} * 24) / 40 = 6 * 10^{-6}$
On obtient : ***Lp= 6µH*** *(c'est la valeur minimale que doit avoir la self)*

17.3. Bobinage du transformateur

Le tore utilisé est un tore récupéré sur une alimentation à découpage. Celui-ci est constitué en réalité de 2 tores côte à côte assemblés par un ruban adhésif (assemblage d'origine sur l'alimentation récupérée). Les dimensions de ce tore ainsi obtenu sont :
Diamètre extérieur = **33** mm
Diamètre intérieur = **19** mm
Largeur = 2*11mm = **22** mm

j'ai mesuré une self de 214µH pour 40 spires.

Suite à un premier calcul, avec des conditions de fonctionnement différentes que celles adoptées, j'ai réalisé un transformateur ayant un rapport de transformation de Ns/Np=2 et une self primaire de 25µH

La self étant proportionnelle au carré du nombre de spire, il faut pour obtenir 25µH bobiner

$40 * \sqrt{\frac{25}{214}}$ = 14 spires

Le nombre de spires du secondaire est de :

Ns = Np *Us/Ue

Np=14

Us =24 volts

Ue = 12 volts

Ns = 14*24/12 = 28 spires

Le transformateur est donc constitué d'une bobine primaire de ***Np = 14 spires***.
Et d'une bobine secondaire de ***Ns = 28 spires***

17.3.1. Transformateur N°1 :

J'ai utilisé du fil émaillé (récupéré sur le tore d'origine) d'un diamètre de **1.4mm**

Attention au bobinage du primaire et du secondaire :

Les 2 enroulements ne doivent surtout pas être séparés. J'ai bobiné le primaire uniformément réparti sur le tore (14 spires) puis l'enroulement secondaire également réparti sur le tore (28 spires) logé entre les spires du primaire. Cela pour obtenir un coefficient de couplage aussi voisin de 1 que possible.

Si on fait l'essai de séparer les 2 enroulements, on obtient des impulsions parasites lors de l'ouverture du transistor de découpage : surtensions de 100 volts et plus, de largeur de l'ordre de 2µs. Cela a pour conséquence catastrophique de perdre plus de 50 % de puissance dans le transistor de découpage. Dans ces conditions, le coefficient de couplage est mauvais, il en résulte un effet selfique résiduel sur le primaire qui est la cause de l'impulsion parasite.

Je ne sais pas quelle est la meilleure technique de bobinage. J'obtiens des impulsions parasites de 0.5µs environ avec une surtension limitée à 45 volts par le circuit RC et des diodes zeners 24 + 24 volts entre drain et grille.

17.3.2. Transformateur N°2 :

J'ai réalisé un deuxième transformateur qui donne un meilleur résultat et qui a les mêmes caractéristiques que le premier :

J'ai utilisé du fil émaillé de **0.7mm** de diamètre.

Pour le primaire j'ai mis 14 spires, constituées de **4 fils jointifs**, uniformément réparties sur le tore (environ 4 brins de 1 mètre).

J'ai mis une couche de ruban adhésif pour maintenir en place ce bobinage.

Pour le secondaire j'ai mis 28 spires, constituées de **2 fils jointifs**, uniformément réparties sur le tore (environ 2 brins de 2 mètres).

Puis une couche de ruban adhésif pour maintenir le tout.

(Les diodes zeners ne sont plus utiles)

Remarques *:*

Après quelques essais, j'obtiens 3A /23V avec une tension d'entrée de 14.5 volts, un courant d'entrée de 5.8A et une fréquence de découpage de 10KHz.

Pour réduire le courant maxi (pic) il faut réduire le temps de commutation avec les mêmes valeurs de self, donc, augmenter la fréquence de découpage. Cela aura pour effet de réduire l'ondulation de tension et de courant mais on augmentera aussi les pertes liées à la commutation.

17.3.3. Transformateur N°3 :

J'ai réalisé un troisième transformateur pour augmenter la tension et le courant de sortie :

Le temps de commutation est en pratique de l'ordre de 42%. Si on prend 40% pour compenser les pertes, il faut choisir un rapport de transformation de 3.

J'ai utilisé du fil émaillé de **0.7mm** de diamètre.

Pour le primaire j'ai mis 11 spires (au lieu de 14 car je n'avais plus de fil sous la main), constituées de **8 fils jointifs**, uniformément réparties sur le tore (environ 8 brins de 1 mètre).

J'ai mis une couche de ruban adhésif pour maintenir en place ce bobinage.

Pour le secondaire j'ai mis 32 spires (au lieu de 33 pou un rapport de transformation de 3), constituées de **4 fils jointifs**, uniformément réparties sur le tore (environ 4 brins de 2 mètres).

Puis une couche de ruban adhésif pour maintenir le tout.

Dans ce nouveau transformateur j'ai doublé la section des fils primaire et secondaire car les pertes ohmiques dans le transformateur sont relativement élevées.

C'est ce transformateur que je vais conserver.

Lp= 15µH

Ns/Np = 2.9

17.4. Les pertes liées aux résistances des fils :

Ces pertes négligées dans un premier temps ne sont pas du tout négligeables et peuvent être la cause d'un échauffement important du transformateur.

J'ai effectué quelques mesures sur les fils du primaire et secondaire **du troisième transformateur** réalisé qui sont les suivantes :

- primaire constitué de 8 brins de f 0.7mm pour former 11 spires :
  Rp = 4.95 milliohms
  Lp = 15µH
- secondaire constitué de 4 brins de f 0.7mm pour former 32 spires :
  Rs = 30 milliohms
  Lp = 130µH

17.4.1. Calcul du courant dans le primaire :

Si on se place dans le cas d'une tension de sortie de 24 volts et un courant moyen de 6A pour un rapport cyclique de 40%.

Dans le primaire on aura donc un courant linéaire de Ip1 à Ip2 :

$Ip1 = Us/Ue * Ismoy * T/t_1 – t_1 * Ue/2Lp$

$Ip2 = Us/Ue * Ismoy * T/t_1 + t_1 * Ue/2Lp$

Avec Us = 24V, Ue =12V, t_1 = 16µs, T=40µs et Lp = 15µH

Ip1 = 23.6A
Ip2 = 36.4A

17.4.2. Calcul du courant dans le secondaire :

Dans le secondaire on aura donc un courant linéaire de Is1 à Is2 :

$Is1 = Ismoy * T/(T-t_1) + (T-t_1) * Us/2Ls$

$Is2 = Ismoy * T/(T-t_1) – (T-t_1) * Us/2Ls$

Avec Us = 24V, t_1 = 16µs, T=40µs et Ls = 130µH

Is1 = 12.2A
Is2 = 7.8A

17.4.3. Pertes dans le primaire :

$Pp = 1/3 * Rp * (Ip1^2 + Ip2^2 + Ip1 * Ip2) * t1/T$

avec Ip1 = 23.6A et Ip2 = 36.4A, Rp = 4.95 milliohms et t1/T = 0.40

Pp = 1.81W

17.4.4. Pertes dans le secondaire :

$Ps = 1/3 * Rs * (Is1^2 + Is2^2 + Is1 * Is2) * (1 - t1/T)$

avec Is1 = 12.2A et Is2 = 7.8A, Rs = 30 milliohms et t1/T = 0.40

Pp = 1.83W

17.4.5. Perte primaire et secondaire

Pp+Ps = 3.64W

Cela peut être la cause d'un échauffement.

17.5. Le champ magnétique :

Le courant maxi dans le primaire peut atteindre 40A (limitation par le shunt).

Le flux est donné par les formules

$\Phi = BS$

$\Phi = LI$

On en déduit $B = LI/S$

I = courant max primaire ; L =self primaire ; S = section du tore

Pour le transformateur (N°3) que j'ai réalisé : L=15µH et $S = 7 * 22\ mm^2 = 154\ mm^2$

Imax_primaire = 40A (limitation par le shunt)

$Bmax = (15*10^{-6} * 40) / (154*10^{-6})$

Bmax = 3.9 T

Si on regarde les données « constructeur » sur la valeur du champ magnétique maxi avant saturation des ferrites : on devrait se situer à 0.5 T maxi.

Cela signifie qu'il faudrait choisir un tore de 1200 mm^2 environ (30mm*40mm).

Pour obtenir un champ maxi de 0.5T, avec un courant de 40A et un tore de section de 154 mm^2, il faudrait une self primaire maxi de 2µH et augmenter la fréquence de découpage à une valeur supérieure à 60KHz.

Dans la pratique, avec le tore que j'ai utilisé, ça marche. Il est évident qu'on sort largement de la partie linéaire et que le champ magnétique n'atteint sûrement pas la valeur de 3.9T.

18. Le transistor de découpage

18.1. Courant commuté par le transistor :

18.1.1. Courant moyen

La puissance de sortie maxi sera Ps_max = Us_max * Is_moy_max

Avec Us_max =24 V

et Is_moy_max = 6 A

La puissance d'entrée sera Pe_max = Ue * Ie_moy_max

avec Ue = 12 V

Conservation de l'energie => Pe = Ps

soit : Ue * Ie = Us * Is

On en déduit : Ie = Is * Us / Ue

=> Ie_moy_max = 6 * 24/12 = 12A (si on ne prend pas en compte les pertes)

18.1.2. Courant dans le transistor :

C'est le même que le courant qui circule dans le primaire du transformateur. Voir calcul sur les pertes liées au bobinage du transformateur.

Le courant maxi que devra supporter le transistor de découpage est donc de 36.4A en régulation, mais il faut prendre le courant maxi limité par le shunt soit **40A**

18.2. Tension maxi aux bornes du transistor :

Le maximum de tension a lieu au moment de l'ouverture du transistor.
Celle-ci est la somme de la tension de l'alimentation 12 volts et de la tension induite sur le primaire soit la tension de sortie réduite par le rapport de transformation.

Vds_max= Ue + Np/Ns Us_max

Avec Ue = 12 V, Us max = 28V et Np/Ns = 1/3
On obtient : Vds_max = 22 volts auquel il faut prévoir des transitoires de commutation qui sont loin d'être négligeable, j'ai pu relever des pics de surtension de **45 volts**.

18.3. Puissance dissipée par le transistor

$Pt = 1/3 * Rds * (Ip1^2 + Ip2^2 + Ip1 * Ip2) * t1/T$
avec Ip1 = 23.6A et Ip2 = 36.4A, Rds = 0.02 ohms et t1/T = 0.40

on obtient *Pt = 7.75 watts*

Pour la réalisation, on utilisera **3 transistors en parallèles** pour réduire les pertes et augmenter le courant de commutation si nécessaire..
Pt = 2.6 watts

19. Circuit de limitation des surtensions

Le circuit est constitué d'une diode en parallèle avec une résistance et le tout en série avec un condensateur (D13, R1 et C16). Il permet de limiter les surtensions lors de l'ouverture du transistor de découpage.

R=100 ohms ; C=10nF
Dans le cas d'une surtension de 45 volts, l'énergie emmagasinée par le condensateur est :
$We = ½ CV^2$ soit $W= 1012\ 10^{-8}$ J
La puissance que devra dissiper la résistance correspond à la quantité d'énergie que doit absorber le condensateur en 1 seconde
P = We/T (avec T=1/f et f=25KHz)
$P = We\ f = 1012\ 10^{-8} * 25\ 10^3 = 0.25$ W
P=0.25W

La résistance doit être en mesure de décharger le condensateur en une demi période soit T/2. La constante de temps doit être inférieure T/10

Avec R=100 ohms la constante de temps est $\tau = RC = 10^{-6}$ s = 1µs

T/2 = 20µs soit encore τ = T/40, ce qui est largement suffisant pour assurer la décharge du condensateur.

20. Le condensateur de découplage d'entrée

Celui-ci doit être prévu pour les alimentations à découpage. Sa résistance interne doit être très faible pour absorber les pointes de courants demandés.

20.1. L'ondulation de tension :

$\Delta Vmax \approx \frac{Ipmoy}{C} * T$ = Ismoy * Us/Ue * T/C

avec Ismoy = 6A, *C* = 4700µF, Us=24V, Ue=12V et T = 40µs (f=25KHz)

on obtient : $\Delta Vmax \approx$ ***0.10 volts***

21. Le condensateur de sortie

21.1. L'ondulation de tension :

$\Delta Vs\_max \approx \frac{Is}{C} * T$

avec Is = 6A, C=1000µF et T=40µs (f=25Khz)

on obtient : $\Delta Vs\_max \approx$ ***0.24 volts***

22. La diode de redressement en sortie d'alimentation

Il faut utiliser une diode rapide destinée aux alimentations à découpage. Le temps de recouvrement doit être très faible.

22.1. Tension inverse maxi

$Uinv\_max = Us\_max + \frac{Ns}{Np} Ue$

Avec Us_max = 28 V, Ue = 12 V et Ns/Np = 3

On obtient : ***Uinv_max = 64 volts***

22.2. Courant maximum

$Idiode\_max = Ismoy\_max * T/(T-t_1) + (T-t_1) * Us/2Ls$

Avec Us = 24V, Ismoy_max = 6A, t_1 = 16µs, T=40µs et Ls = 130µH

On obtient : ***Idiode_max = 12.2 ampères***

22.3. Courant moyen dans la diode

Idiode_moy_max = Is_moy_max

On obtient : ***Idiode_moy_max = 6 A***

22.4. Puissance dissipée par la diode

Pd_max = Ud * Idiode_moy_max

avec Ud = 1V et Imoy_max = 6A

=> *Pd_max = 6W*

Pour un courant de sortie de 6A, on obtient ***Pd_max = 6W***

23. Régulation du courant de charge par découpage

23.1. Le régulateur

Le circuit utilisé est le « TL494 ». Il dispose de 2 amplificateurs opérationnels pour contrôler la tension et le courant de sortie. Les tensions d'entrées de ces amplificateurs

peuvent être comprises entre
(–0.3) et (VCC-2) volts

23.2. La limitation en tension de sortie

J'ai utilisé le premier ampli-Op pour limiter la tension de sortie à 28 volts.

23.3. La limitation du courant d'entrée primaire

Cette limitation est indispensable pour protéger le transistor de découpage.

J'ai combiné une limitation complémentaire sur le premier ampli-Op pour limiter le courant de commutation du transistor de découpage en insérant une résistance shunt dans la source de ce transistor.

Le courant moyen maximum étant de 6 ampères, le courant primaire maxi est de 36.4A (on prendra 40A pour le calcul) et la résistance du **shunt de 0.0025 ohms**.

La tension maxi aux bornes du shunt sera de 40A * 0.0025 ohms = 0.1 volts. La référence de tension sur l'entrée [1IN-] est donc de 0.1 volts.

Puissance dissipée par le shunt :

Le courant est linéaire entre 0 et T/2 puis nul entre T/2 et T. Dans ces conditions la puissance dissipée par la résistance shunt est donnée par la formule :

La formule est la même que celle du calcul des pertes dans l'enroulement primaire du transformateur :

$P = 1/3 * Rshunt * (Ip1^2 + Ip2^2 + Ip1 * Ip2) * t1/T$

avec Ip1 = 23.6A et Ip2 = 36.4A, Rshunt = 25 milliohms et t1/T = 0.40

La puissance dissipée par ce shunt est donc de 0.91 watts.

Cette résistance doit être de nature non selfique. Donc une résistance non bobinée !

La puissance prélevée sur la batterie de 12 volts est donc limitée à P=Ue*Ipmoy

Ipmoy = [Imax + Imax – (Ue/Lp)*t1] / 2 *t1/T

Avec Imax=40A, Ue=12V, t1=16µs (pour 42% de rapport cyclique qui est la valeur maxi mesurée) et T=40µs

Ipmoy=14A

Puissance maxi d'entrée P=168W

Dans la pratique, j'utilise **3 transistors** pour le découpage, donc le courant de limitation peut être de valeur supérieure.

23.4. La consigne de régulation du courant de charge

Le deuxième ampli_Op est utilisé pour réaliser la régulation en courant en réinjectant la tension prélevée par un shunt de 0.1 ohms situé en série avec l'accu à charger. Un courant de 3 ampères donnera une tension de 0.3 volts.

La consigne de tension sur l'entrée [2IN-] devra donc être de 0.6 volts pour un courant régulé à 6 ampères. Cette consigne est réalisée par une sortie modulée en PWM afin de ne pas utiliser un convertisseur digital analogique (cette consigne est commune avec la décharge).

23.5. La commande marche-arrêt du découpage

Le circuit dispose d'une entrée « Deadtime-control » qui permet de bloquer la commande du découpage. Cette entrée permet d'établir progressivement la puissance en diminuant progressivement la tension d'entrée de cette broche, c'est un circuit RC qui assure cette fonction.

23.6. La fréquence découpage

La fréquence initialement choisie de 10KHz a l'inconvénient premier d'être audible. Cela a pour effet de produire un bruit de friture dans le boîtier qui n'est pas très rassurant. **J'ai donc augmenté la fréquence à 25KHz**.

Cette augmentation de fréquence a un avantage supplémentaire : les pics de courant dans le transformateur sont réduits. L'ondulation de tension sera plus faible (ce n'est pas le but recherché mais ce n'est pas plus mal).

Je ne cherche pas à augmenter de trop la fréquence car les pertes dues aux surtensions lors des commutations du transistor de découpage augmentent en même temps.

23.7. Puisssance dissipée par le shunt de charge

Le chargeur permet d'obtenir un courant de charge de **6A**. Dans ce cas, la puissance dissipée par le shunt est de ***3.6 watts***.

24. Régulation du courant de décharge (en linéaire)

La décharge est limitée à 6 ampères. Cette valeur devra être utilisée en connaissance de cause: ça va chauffer ! Avec le radiateur et les ventilateurs utilisés sur mon chargeur, il ne serait pas raisonnable de dépasser une puissance de **60 watts** (Ne pas oublier la formule du calcul de la puissance **P=UI**). De plus la puissance du shunt doit être choisie en fonction du courant maxi qu'on va utiliser.

La décharge est assurée par un transistor monté en régulateur de courant. Un amplificateur opérationnel commande ce transistor. La puissance fournie par la décharge de l'accu est dissipée par ce transistor. Un refroidissement efficace est nécessaire pour ce composant.

Le courant est prélevé sur un shunt de 0.1 ohms.

Le microcontrôleur ne contrôle pas la puissance mise en jeu.

24.1. Puisssance dissipée par le transistor de décharge

Cette puissance est fonction du nombre d'éléments constituant l'accu et du courant de décharge.

P = Uaccu * Idech

Uaccu = N * U_0 (avec U_0 = tension par élément et N le nombre d'éléments)

Si on considère que U_0 = 1.3V et **Idech = 3A**

P = 4*N

Pour N = 4 on obtient : P = 16W

Pour N = 12 on obtient : P = 48W

On voit qu'un radiateur de refroidissement efficace est nécessaire et qu'un seul transistor risque d'être insuffisant..

Pour assurer la puissance que doit absorber le transistor de décharge j'ai monté plusieurs transistors en parallèles (6 pour être précis). **Attention : les grilles de commande des transistors ne doivent pas être reliées directement entre elles**. Il faut insérer une résistance de **470 ohms en série** sur chacune des grilles.

J'ai fait l'essai de relier les grilles directement entre elles : le résultat est surprenant ! Jusqu'à 19 volts je n'ai rien observé de particulier mais à partir de 20 volts j'avais une superbe oscillation de 50 MHz qui avait pour effet de planter le microcontrôleur. J'imagine ce qui pourrait se produire sur le terrain avec des avions en vols : tout le monde au tapis, je charge mes accus !

24.2. Puisssance dissipée par le shunt de décharge

Le chargeur permet d'obtenir un courant de décharge de **6A**. Dans ce cas, la puissance dissipée par le shunt est de ***3.6 watts***.

24.3. La consigne de régulation

La consigne de tension sur l'entrée [+] devra donc être de 0.3 volts pour un courant régulé à 3 ampères. Cette consigne est réalisée par une sortie modulée en PWM afin de ne pas utiliser un convertisseur digital-analogique. C'est la même consigne que celle utilisée pour la charge.

25. Contrôle de la tension de l'accu à charger ou à décharger.

25.1. Les calibres de mesure

La mesure de tension est réalisée après avoir bloqué la commande de charge ou de décharge de l'accu, donc à courant nul. Ceci pour ne pas introduire les tensions aux bornes des shunts.

La mesure de tension est prévue en 4 calibres
0 – 10 volts
0 – 20 volts
0 – 30 volts
0 – 40 volts

Cela est nécessaire pour avoir la meilleure précision de mesure possible. En effet, le convertisseur incorporé dans le microcontrôleur est un convertisseur 10 bits soit une résolution de 1024 points. Ce qui est un peu juste pour la détection par delta-peak.

Les résistances constituant les diviseurs de tension (R12, R13, R31 et R32) auront pour **tolérance : 1%** afin de réduire l'écart de mesure lors du changement de calibre.

25.2. La précision des mesures

- Pour une tension inférieure à 10 volts on aura une résolution de 10mV par point.
  - 4 à 6 éléments
- Pour une tension inférieure à 20 volts on aura une résolution de 20mV par point.
  - 7 à 13 éléments
- Pour une tension inférieure à 30 volts on aura une résolution de 30mV par point.
  - > 14 éléments
- Pour une tension inférieure à 40 volts on aura une résolution de 40mV par point.

La tension maxi aux bornes d'un élément complètement chargé est inférieure à 1.5 volts

Si on veut détecter le delta-peak d'un accu à 10 mV par élément :

- 4 éléments -> calibre 10volts
  - ð il faut détecter une variation de 40 mV soit 4 unités de résolution
- 7 éléments -> calibre 20volts
  - ð il faut détecter une variation de 70 mV soit 3 unités de résolution
- 14 éléments -> calibre 30volts
  - ð il faut détecter une variation de 140 mV soit 4 unités de résolution

26. Protections de la batterie 12V et de l'accu à charger/décharger

26.1. Alimentation du chargeur sur batterie 12 volts :

L'alimentation est protégée contre les inversions de polarité :

Une diode en série avec une résistance permet de charger lentement le condensateur de filtrage pour le découpage afin d'éviter d'avoir un courant important lors du branchement (étincelles). Quand le condensateur est en partie chargé, un relais se met en commutation et court-circuite l'ensemble « diode-résistance ».

Si on inverse les polarités de la batterie 12 volts, la diode bloquera l'alimentation.

Si on insiste un peu trop, un fusible est prévu pour éviter de gros dégâts.

Le choix de la diode n'est pas critique, elle ne sert que peu de temps lors de la mise sous tension.

26.2. Branchement de l'accu :

Le circuit de sortie n'est pas protégé contre les inversions de polarité de l'accu. Si on inverse la polarité, le circuit constitué de l'enroulement secondaire du transformateur TR1 en série avec la diode de redressement D4 se trouvent en conduction. Dans ces conditions, la destruction de la diode est inévitable.

Un fusible est prévu pour éviter de gros dégâts.

Une diode dans le circuit de décharge protège cette partie contre les inversions de branchement. Cette diode doit être capable de supporter le courant de décharge soit 3 ampères. La tension inverse que doit supporter éventuellement cette diode correspond à la tension qu'on aurait aux bornes de l'accu en inversant les polarités. Une tension inverse de 30 volts est le minimum requis.

En l'absence d'accu, le découpage est en position arrêt, donc la tension de sortie est nulle. L'alimentation à découpage ne sera active que si on détecte une tension « positive » aux bornes de l'accu.

26.2.1. Protection du montage des inversions de polarité de l'accu à charger :

Un circuit auxiliaire est prévu pour assurer **la protection** du montage des inversions de polarité de l'accu à charger. Ce circuit est constitué d'un détecteur de tension (AmpliOp CA3140) associé à un relais qui assure la liaison électrique si la polarité est correcte. Le seuil de validation est fixé à +0.25 volts. En l'absence d'accu, un contrôle de la baisse de tension de sortie commande des impulsions de décharge pour accélérer la décharge du condensateur de sortie. Ce circuit aurait dû être intégré dans le circuit du chargeur, mais j'ai oublié cette protection lors de la réalisation du schéma.

26.3. Les fusibles de protection

Le rôle des fusibles n'est pas de protéger les composants électroniques. S'il y a un problème : c'est toujours les circuits électroniques qui claquent en premier et les fusibles suivent.

Le fusible d'entrée sert à protéger la batterie voiture et le câble de liaison.

De même, le fusible de sortie protège l'accu à charger, les fils et la connectique.

On peut donc prendre sans trop se poser de questions :

- un fusible de 20 à 25A en entrée
- et 10 à 15A en sortie

27. Le rendement théorique maxi du chargeur :

- Puissance maxi de sortie = Us * Is_max = 24*6 = 144W
- Les pertes :
  - Puissance dans les 3 transistors de découpage = 2.6W
  - Puissance dans le shunt sur le primaire du transfo = 0.91W
  - Puissance dans le shunt pour la mesure du courant = 3.6W
  - Puissance dans la diode de redressement = 6W
  - Puissance dans le bobinage du transfo = 3.64W

  L'ensemble des pertes est donc de 16.75W
- le rendement est donc : $n = \frac{Ps}{Ps + pertes}$

  soit ***n = 89%*** *(c'est la valeur maxi qu'on puisse espérer obtenir et qui sera difficile à atteindre)*

- Les autres pertes non prises en compte :
  - Pertes liées aux surtensions (pics de commutation), non négligeables.
  - Pertes dans la ferrite
  - Et autres…

28. Le microcontrôleur PIC16F876

28.1. L'horloge

Ce circuit fonctionne avec un oscillateur à quartz de 4MHz, soit un temps machine de 1µs.

28.2. Les entrées analogiques

On utilise le convertisseur analogique-digital intégré pour faire la mesure de 4 entrées analogiques :

- mesure de tension batterie 12 volts
- mesure de tension accu à charger/décharger
- mesure du courant de charge/décharge
- mesure de température

28.3. Les entrées-sorties utilisées

On utilise

- 1 sortie PWM pour réaliser la consigne de courant de charge/décharge
- les 2 broches TX et RX pour communiquer éventuellement avec un PC
- 2 broches en sorties pour définir le calibre de mesure de tension de l'accu
- 1 sortie pour la commande du buzzer
- 1 sortie pour la commande du ventilateur
- 1 sortie pour la commande de décharge
- 1 sortie pour la commande de charge
- 7 broches pour la commande d'un afficheur LCD, dont 4 broches sont utilisées aussi pour les 4 boutons poussoirs.

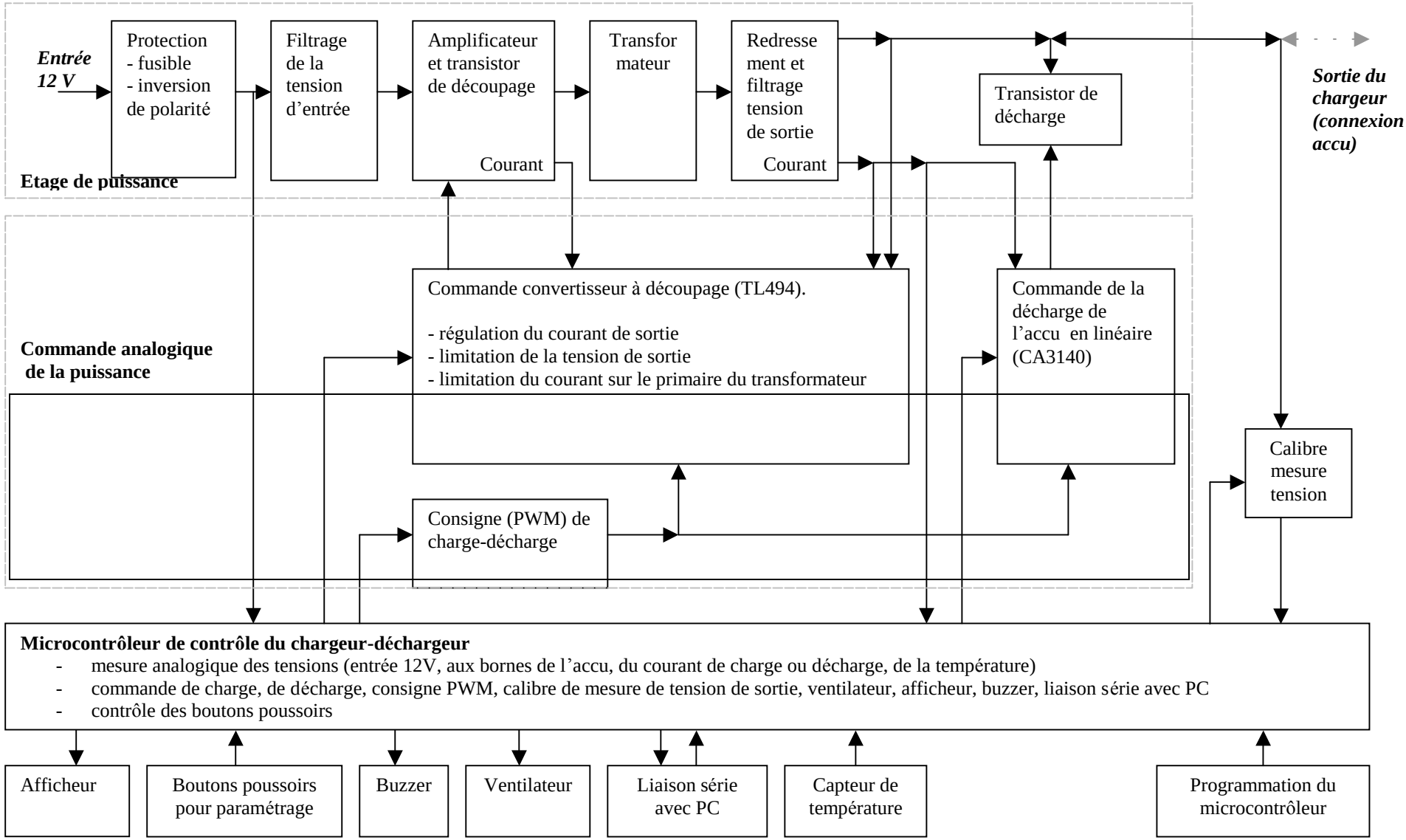
28.4. La programmation in-situ

2 broches ne sont pas utilisées mais elles sont très utiles pour la programmation in situ du composant (RB6-RB7)

L'entrée MCLR/ est disponible elle aussi pour la programmation in situ.

20 broches d'entrées-sorties sont utilisées sur les 22 disponibles (il reste les 2 broches de programmation disponibles).

29. Synoptique


Entrée 12 V
Protection - fusible - inversion de polarité
Filtrage de la tension d'entrée
Amplificateur et transistor de découpage
Courant
Transfor mateur
Redresse ment et filtrage tension de sortie
Courant
Transistor de décharge
Sortie du chargeur (connexion accu)
Etage de puissance
Commande convertisseur à découpage (TL494).
- régulation du courant de sortie
- limitation de la tension de sortie
- limitation du courant sur le primaire du transformateur
Commande de la décharge de l'accu en linéaire (CA3140)
Commande analogique de la puissance
Calibre mesure tension
Consigne (PWM) de charge-décharge
Microcontrôleur de contrôle du chargeur-déchargeur
- mesure analogique des tensions (entrée 12V, aux bornes de l'accu, du courant de charge ou décharge, de la température)
- commande de charge, de décharge, consigne PWM, calibre de mesure de tension de sortie, ventilateur, afficheur, buzzer, liaison série avec PC
- contrôle des boutons poussoirs
Afficheur
Boutons poussoirs pour paramétrage
Buzzer
Ventilateur
Liaison série avec PC
Capteur de température
Programmation du microcontrôleur

LE PROGRAMME

30. Description du programme :

Mise Sous tension
- Initialisation, message de « Bienvenue… »

Toutes les 62.5ms :
- Gestion des poussoirs
- Actualisation de l'affichage en conséquence (paramètre/menu).
- Transfert sur liaison **RS232** d'un octet des mesures
    - Synchronisation (3 octets)
    - Tension_Batterie_voiture (2 octets)
    - Température (1 octets)
    - Courant de charge ou de décharge moyen (2 octets)
    - Tension_Accu (2 octets)
    - Capacité de l'accu (3 octets)
    - Résistance interne de l'accu (2 octets)
    - Tension de peak (2 octets)
    - Etat du chargeur (charge rapide, lente, décharge, arrêt) (1 octets)

  Il faut donc environ 1 seconde pour transmettre l'ensemble des données sur la liaison série

30.1. En l'absence de charge ou de décharge :

Toutes les secondes :
- Mesure tension batterie voiture
- Mesure tension accu
- Mesure température

30.2. Charge ou décharge active

Toutes les 2.25 secondes :
- Mesure et contrôle Tension_Batterie_voiture
- Mesure et contrôle Température
- Mesure et contrôle Courant de charge ou de décharge
- Coupure de la charge ou décharge pendant 250ms
- Mesure Tension_Accu (moyenne sur **8** mesures) (avec courant nul)
- Si **Charge** active :
    - Contrôle **DELTA-PEAK** (en charge rapide seulement)
    - Contrôle de la durée de charge
- Si **Décharge** active :
    - Contrôle **SEUIL_de_DECHARGE**
- Contrôle du cycle (basculement Charge/décharge/Arrêt)
    - Sauvegarde des résultats dans eeprom (Capacité emmagasinée ou restituée)

La commande de charge est interrompue toutes les 2.25 secondes pendant 0.25 secondes

30.3. Contrôle DELTA-PEAK :

Mémorisation de la valeur maxi de la tension (tension de peak) :

Il faut éliminer les impulsions parasites, pour cela on utilise la méthode suivante :

ð On prend la plus petite valeur des N dernières mesures, on la compare avec la dernière tension de peak mémorisée, et on prend la plus grande de ces 2 valeurs.

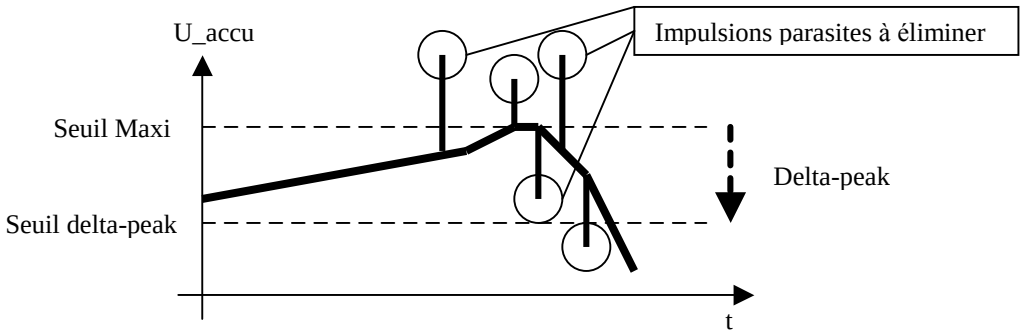
Tension delta-peak :

- Cas ou le nombre d'éléments n'est pas spécifié :
  - ð Cette valeur est calculée d'après la tension de peak. Elle est donnée par la formule : (Upeak / 1.275) * Δp, avec Δp = nombre de mV par élément.
- Cas ou le nombre d'éléments est spécifié :
  - ð Cette valeur est calculée d'après la formule N * Δp , avec N = nombre d'éléments.

Validation du delta-peak :

Il faut éliminer les impulsions parasites, pour cela on utilise la méthode suivante :

ð L'arrêt de la charge ne sera valide que si on a 8 mesures successives pour confirmer l'arrêt.



NB : La **détection** de charge par **delta-peak** est **inhibée durant les 5 premières minutes**

30.4. Contrôle SEUIL de DECHARGE

Calcul du seuil de décharge :

- Cas ou le nombre d'éléments n'est pas spécifié :
  - ð Le calcul du seuil est réalisé en appliquant le paramètre exprimé en pourcentage sur la tension maxi mesurée
  - ð Cette valeur est la plus petite des N dernières mesures et si cette valeur est supérieure à la valeur maxi déjà mémorisée
- Cas ou le nombre d'éléments est spécifié :
  - ð Le calcul du seuil est réalisé en appliquant le paramètre exprimé en pourcentage sur la base de 1.2 volts par élément dans le cas du Nickel et 2 volts pour le plomb

Validation de l'arrêt de la décharge :

ð L'arrêt de la décharge sera valide si on a 1 mesure inférieure au seuil pour confirmer l'arrêt.

30.5. Contrôle tension batterie voiture

Si cette tension est inférieure à la limite prédéfinie ou si elle est supérieure à 16 volts, ARRET de la charge, décharge et ventilateur + message **ALERTE-Alimentation**

Il n'y a pas de contrôle de cette tension quand le chargeur est à l'arrêt. Le contrôle a lieu dès la mise en service du chargeur, avant même de mettre la charge ou la décharge active.

30.6. Contrôle température

La température contrôlée est celle du montage et non de l'accu à charger. La puissance mise en jeu est élevée et j'ai choisi d'assurer la surveillance du fonctionnement du chargeur. Il serait possible de mettre un contrôle de température de l'accu à charger puisqu'il y a 4 entrées analogiques utilisées sur les 5 disponibles sur le microcontrôleur, mais cela n'a pas été envisagé dans le programme.

Si la température est supérieure à la limite BASSE prédéfinie, mise en route du ventilateur

Si la température est supérieure à la limite HAUTE prédéfinie, ARRET de la charge et Décharge + message **ALERTE-Surchauffe**

30.7. Contrôle courant de charge ou de décharge

Si la mesure est supérieure à (25% de la consigne + 150mA), ARRET de la charge et décharge, et, message **ALERTE-Courant, défaut de régulation (charge ou décharge)**

30.8. Mesure de la résistance interne de l'accu

La mesure de résistance est réalisée systématiquement et uniquement en fin de charge rapide. Cette mesure est réalisée en effectuant une décharge de courte durée.

Le principe de mesure est le suivant :

1) Mise en décharge avec un courant de I_1 = 1.150 ampères
2) Après 250 ms de décharge : mesure de la tension aux bornes de l'accu (U_1)
3) Modification du courant de décharge de I_2 = 0.150 ampères.
4) Après 250 ms de décharge : mesure de la tension aux bornes de l'accu (U_2)
5) Arrêt de la décharge et calcul de la résistance :
   $R = U_2 - U_1$ (car $I_1 - I_2$ = 1 ampère)

30.9. Charge des accus au plomb

La charge est réalisée avec un courant constant tant que la tension à ses bornes est inférieure à la tension maxi (qui correspond dans ce cas à la tension de maintien ou encore de « Floating ». Ensuite la consigne de courant est réduite pour ne pas dépasser la tension de floating.

Dans le cas d'une charge rapide, le courant est maintenu à la valeur de consigne définie par le paramètre de charge rapide jusqu'à ce que la tension atteigne « la tension maxi + 0.1V » par élément. Ensuite on passe à l'étape suivante.

En charge lente on régule le courant pour maintenir la tension de floating.

Un contrôle de surtension est présent, il est défini par « la tension maxi + 0.5V » par élément.

MISE AU POINT DU MONTAGE

Pour faciliter le contrôle des circuits de charge et de décharge, j'ai inséré dans le programme un menu de contrôle avec accès réservé.

31. Menu de contrôle pour la mise au point

L'accès à ce menu s'obtient en appuyant simultanément sur les poussoir + et – pendant la mise sous tension. On en sortira par la coupure de l'alimentation. Ce menu sert uniquement à la fabrication.

Il y a 5 menus de contrôle :

1) Charge
2) Décharge
3) Ventilateur
4) Calibre de mesure de tension aux bornes de l'accu
5) Remise à zéro de l'eeprom

Le choix se fait avec les poussoirs BP2 ou BP3.
La validation se fait en appuyant sur BP4.

Dans ce menu la lettre **« K »** est affichée en bas à droite de l'afficheur.

31.1. Charge et Décharge :

Avec les poussoir BP2 ou BP3, on peut ajuster la valeur du PWM qui sera comprise entre 0 et 240
(valeur 0=0% et valeur 240 =100% soit 6 ampères)

L'afficheur indique la tension aux bornes de l'accu et le courant dans l'accu.

Pour sortir de ce contrôle, il faut appuyer sur BP1. Cela aura pour effet d'interrompre immédiatement la charge ou la décharge.

31.2. Ventilateur :

Avec les poussoirs BP2 ou BP3, on peut mettre en position « Marche » ou « Arrêt » le ventilateur.

Pour sortir de ce contrôle, il faut appuyer sur BP1. Le ventilateur restera dans la position choisie en sortant.

31.3. Calibre de tension

Avec les poussoir BP2 ou BP3, on peut on peut choisir les calibres : 10V, 20V, 30V, 40V ou le calibre en automatique.

Pour le calibre automatique, on peut voir sur l'affichage le calibre sélectionné.
L'afficheur indique la tension aux bornes de l'accu.

31.4. Remise à zéro de l'eeprom

Cette remise à zéro affecte la **totalité de la mémoire** eeprom. Cette action a pour effet de mettre les paramètres par défaut pour chaque mode.

Pour réaliser cette Raz, ila faut appuyer sur simultanément sur BP2, BP3 et BP4. Puis relâcher les poussoirs. Dès que la réinitialisation est terminée (1 seconde) on revient sur le menu de sélection « RAZ eeprom »

32. Résultats des essais :

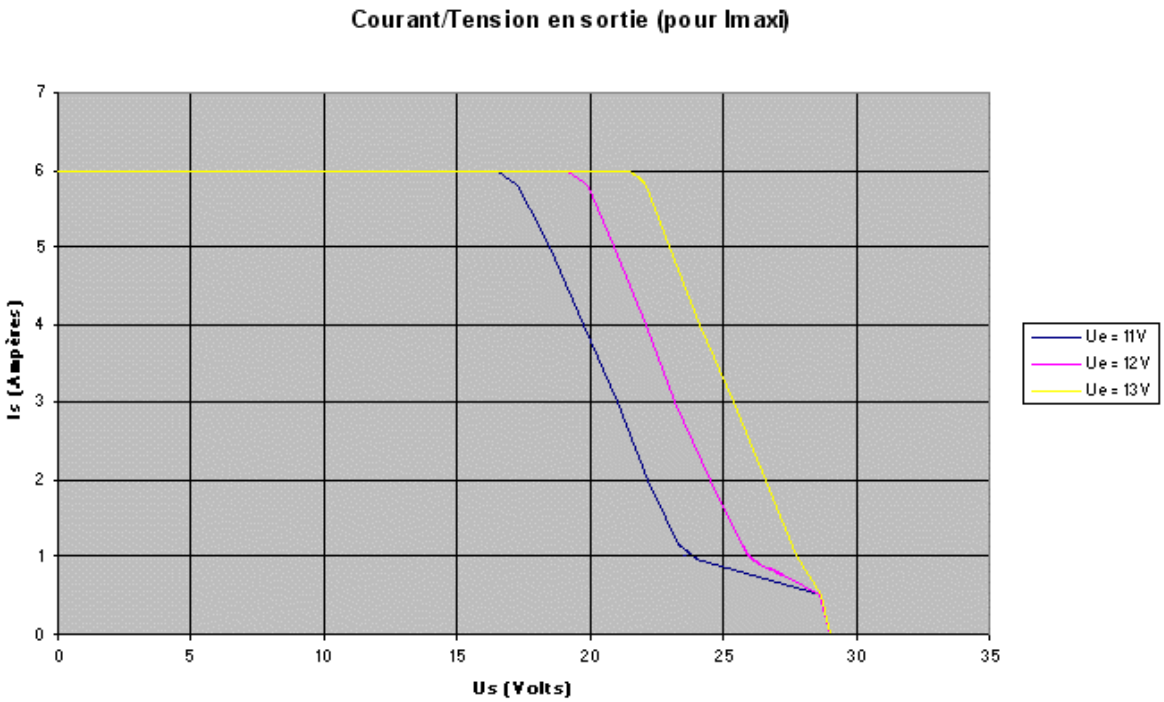
32.1. En Charge :

la consigne de courant est ajustée au maximum, soit 6A, le chargeur se comporte comme un générateur de courant de 6A maxi. Cela de 0 volt à :

- 17 volts pour une tension d'entrée de 11V
- 19.7 volts pour une tension d'entrée de 12V
- 21.9 volts pour une tension d'entrée de 13V

- Le courant diminue, de façon à peu près linéaire, quand la tension augmente. Le courant passe à 3 ampères pour une tension de sortie de
  - 21 volts pour une tension d'entrée de 11V
  - 23.2 volts pour une tension d'entrée de 12V
  - 25.4 volts pour une tension d'entrée de 13V

- Le courant passe à 1 ampère pour une tension de sortie de
  - 23.5 volts pour une tension d'entrée de 11V
  - 25.9 volts pour une tension d'entrée de 12V
  - 27.8 volts pour une tension d'entrée de 13V



Quelques observations sur ce graphique : on distingue 4 parties significatives.

1) Le courant est constant à 6 ampères

   Dans ce cas, c'est le régulateur qui contrôle le rapport cyclique des signaux de commande du découpage afin de maintenir un courant constant.

2) Le courant décroît rapidement et de façon linéaire avec la tension :

   Dans ce cas le régulateur ne contrôle plus le courant car il est au maximum de ses possibilités. Le rapport cyclique des signaux de commande ne peut plus augmenter, il est à la valeur maxi (42%). C'est les caractéristiques du transformateur qui impose la chute du courant. Le courant dans le secondaire du transfo **ne s'annule pas** en fin de période, on est en mode avec flux continu.

3) Le courant décroît mais lentement avec la tension :
   Dans ce cas le courant dans le secondaire du transfo **s'annule** en fin de période, on est en mode avec flux discontinu.

4) Le courant s'annule brusquement à 28 volts:
   On se situe dans le cas ou la diode zener DZ2 entre en conduction et entraîne la limitation de tension de sortie.

   Voir les graphiques sur le fonctionnement de l'élévateur de tension pour faire le lien avec les résultats obtenus.

32.2. En Décharge :

J'ai réalisé des essais de décharge en fonctionnement normal (et non en mode de contrôle) pour contrôler la dissipation thermique du radiateur avec les deux ventilateurs. La température ambiante est de 24°C. Dés la mise en décharge, la température monte assez vite, et les ventilateurs se mettent en service. J'ai effectué une décharge sur une durée de 1h25' avec une puissance de 52 à 63 watts.

- Tension et courant de sortie constants (Us = 28 volts, Is_moyen = 2.27A)
  soit une puissance de 63 Watts (Tension d'entrée = 11V)
  - Température stabilisée après 35 minutes de fonctionnement : 53°C
  - Durée de la décharge : 70 minutes
  - NB : le fait de mettre 12V en entrée, les ventilateurs tournent plus vite et la température est passée de 53°C à 52°C au bout de 15 minutes (faible efficacité supplémentaire)

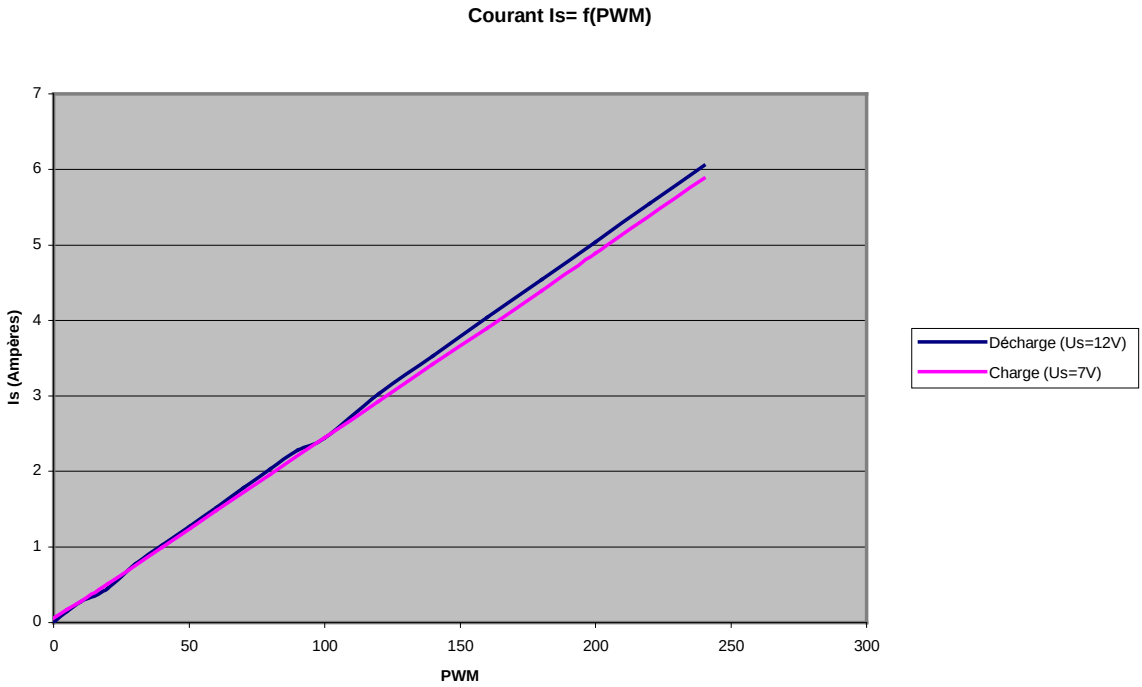
- Tension et courant de sortie constants (Us = 10 volts, Is_moyen = 5.2A)
  soit une puissance de 52 Watts
  - Température stabilisée après 25 minutes de fonctionnement : 46°C
  - Durée de la décharge : 30 minutes

- Tension et courant de sortie constants (Us = 11.5 volts, Is_moyen = 5.3A)
  soit une puissance de 61 Watts
  - Température stabilisée : 51°C
  - Durée de la décharge : 25 minutes

On peut observer que je n'ai pas effectué de décharge à 6 ampères. Cela vient du fait que la décharge est active pendant 2 secondes puis à l'arrêt durant 0.25 secondes pour faire la mesure de tension avec courant nul. Donc pour un courant de 6A on a un courant moyen de 6*2/2.25 = 5.33A

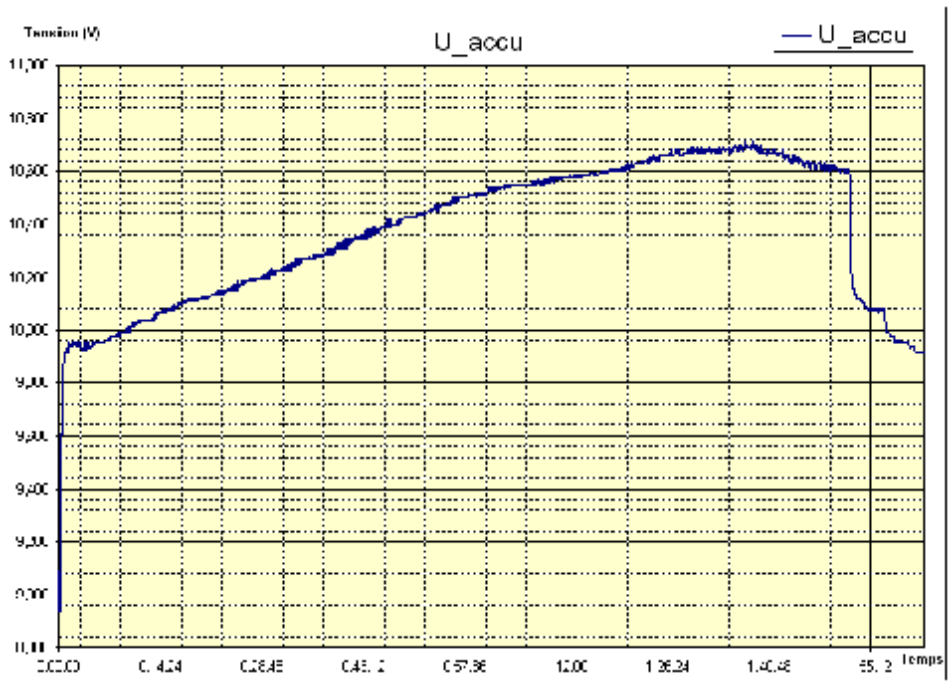
32.3. Caractéristique du courant de sortie en fonction de la valeur du PWM

La valeur de PWM est comprise entre 0 et 240.
- « 0 » correspond à 0% de la consigne maxi
- « 240 » correspond à 100% de la consigne maxi

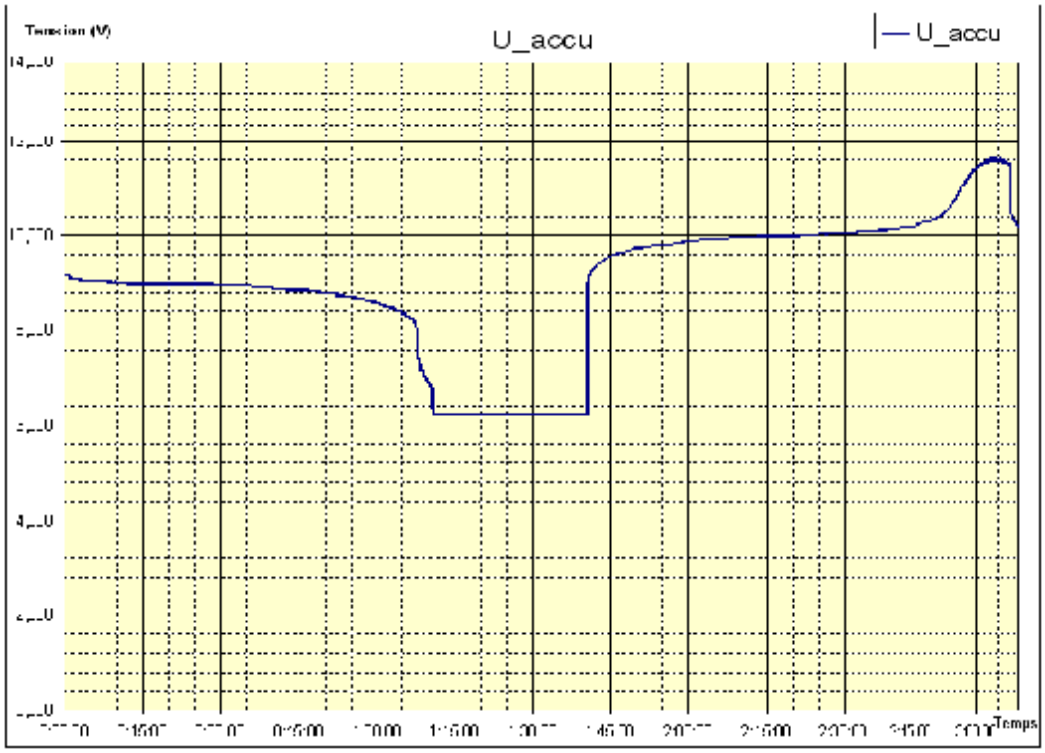


On constate que le courant de charge ou de décharge est bien linéaire avec la valeur de PWM.

32.4. Un exemple de courbes obtenuent sur le PC



On voit très bien le petit pic de tension en début de charge (non pris en compte par le chargeur). Le seuil de delta-peak était fixé à 10mV/élément.



On peut voir un cycle de charge d'une durée de 1h10' suivi d'une pause de 30 minutes, puis d'une charge rapide entre 1h40' et 3h05'. Le peak de tension est bien observable. Le seuil de delta-peak était fixé à 5mV/élément.

(Il est à noter que la tension constante de 6.2V durant la pause est le résultat d'un bug de programmation qui est résolu).

Informations et documentation

33. Les accus

Je vous invite à consulter le site http://www.ni-cd.net très bien documenté sur le sujet. Et pour rappel, voici quelques informations utiles :

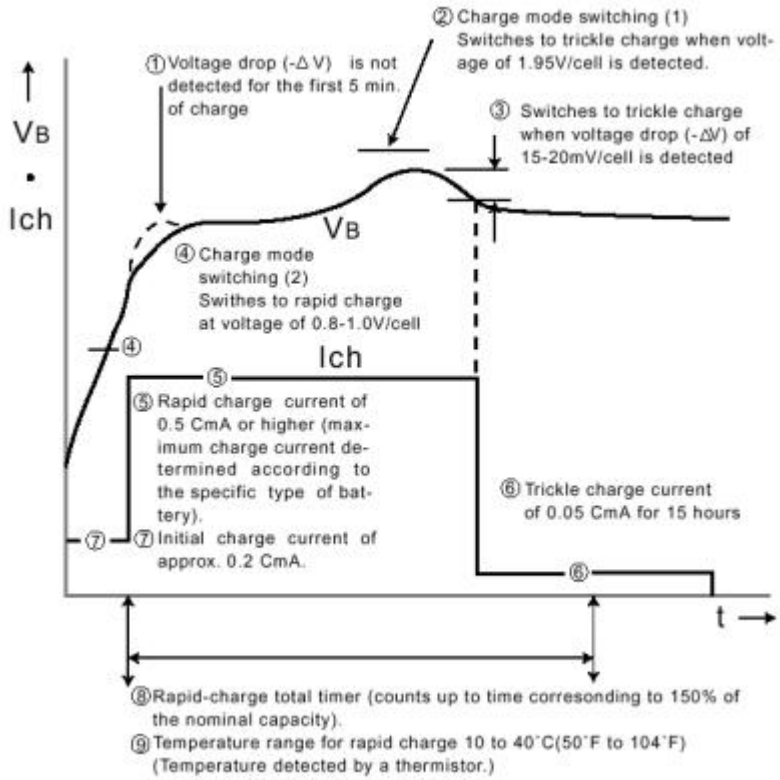
33.1. Les accus Ni-Cd

charge Normale doit normalement se faire à courant constant au **1 / 10 ème** du courant nominal de la batterie sous une tension disponible d'au moins 1,45 V par élément (minimum pour que ça charge). Ce courant doit être maintenu pendant environ 14 heures lorsque au départ la batterie est complètement déchargée.

Durant la charge la tension de la batterie va augmenter d'abord rapidement puis plus lentement jusqu'à atteindre un maximum de tension d'environ 1,4 V / élément. La charge est alors terminée.

Ensuite, si la batterie reste alimentée avec le même courant, il y aura surcharge. La tension va commencer à baisser, la batterie n'accumule plus d'énergie et le courant qui la traverse se dégage en chaleur : C'est le moment où la batterie commence à chauffer. Il y a, à ce moment là, la production d'hydrogène et d'oxygène dans les éléments. A 0,1 In, au bout de 14 h de surcharge les éléments commencent à ce détruire.

L'idéal pour tester précisément la fin de charge d'une batterie Cd-Ni c'est de détecter le -dV/dt, c'est à dire le moment où la tension de la batterie a atteint son maximum et où cette tension commence à baisser. Cette méthode est fortement conseillée pour les charges rapides et accélérées. D'autres solutions sont possibles. On utilise aussi couramment la détection du niveau de la tension théorique de fin de charge (1,4 V / élément).

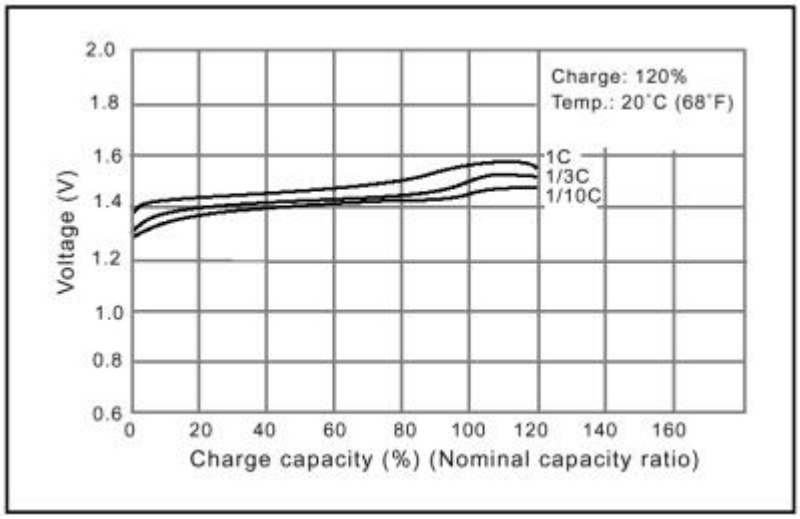

② Charge mode switching (1)
Switches to trickle charge when voltage of 1.95V/cell is detected.
① Voltage drop (-ΔV) is not detected for the first 5 min. of charge
③ Switches to trickle charge when voltage drop (-ΔV) of 15-20mV/cell is detected
VB
•
Ich
VB
④ Charge mode switching (2)
Swithes to rapid charge at voltage of 0.8-1.0V/cell
④
Ich
⑤
⑤ Rapid charge current of 0.5 CmA or higher (maximum charge current determined according to the specific type of battery).
⑥ Trickle charge current of 0.05 CmA for 15 hours
⑦
⑦ Initial charge current of approx. 0.2 CmA.
⑥
t
⑧ Rapid-charge total timer (counts up to time corresonding to 150% of the nominal capacity).
⑨ Temperature range for rapid charge 10 to 40˚C(50˚F to 104˚F)
(Temperature detected by a thermistor.)

(1) Temporisation sur la détection de fin de charge pour éviter qu'elle ne se déclenche dès le début de la charge.

(2) Détection de **tension max de 1,95 V/élément**.
(4) Limitation du courant de charge si la tension est inférieure à 0,8 V/élément.
(8) Compteur de temps limitant la charge rapide ou accélérée à 150 % de la capacité
(9) Détection de l'élévation de température des éléments. Pour cela la batterie doit être préalablement équipée d'un capteur de température.

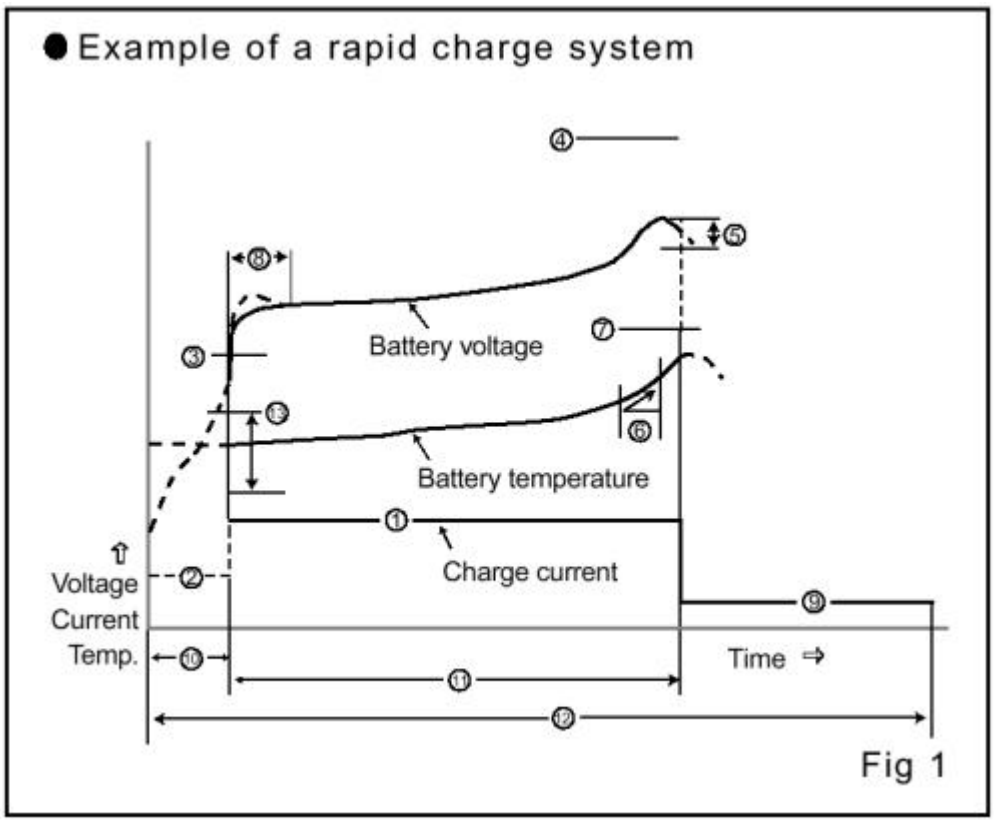
33.2. Les accus Ni-Mh

Un **accumulateur Ni-MH** se charge à **courant constant** comme le Ni-Cd. La différence se situe dans les variations de la tension de fin de charge. Celle du Ni-MH a beaucoup moins de variations d'amplitude. A tel point que, **à 0,1 In**, la détection du -dV/dt est pratiquement impossible. Il faut alors détecter **dV^2/dt^2** (point d'inflexion de la fin de la courbe de charge). Pas question d'utiliser le niveau de tension c'est beaucoup trop imprécis. La charge à 0,1 In est donc difficile à mettre en oeuvre du fait de cette fin de charge sans phénomène remarquable.



Les fabricants d'**accus Ni-MH** conseillent une **méthode de charge particulière** qui se fera en plusieurs étapes. On commence par une **charge rapide de 0,5 à 1 In**. Avec un tel courant de charge, la courbe présentera au final une légère baisse de tension (plus faible que le Ni-Cd) qui permettra malgré tout une détection du -dV/dt. Lorsque cet instant est détecté, **on diminue le courant à 1/30ème de In** pour terminer la charge par une charge d'entretien.

ATTENTION les **accus Ni-MH supportent très mal la surcharge** donc la détection de la fin de charge est très importante. Il est fortement conseillé de lui adjoindre un **compteur de temps** qui limitera la charge à 90 mn et une **surveillance de la température** pour éviter tout échauffement. Il faudra pour cela que votre batterie soit équipée d'un capteur de température (CTN ou autre).
Il sera donc très difficile, à l'inverse du Ni-Cd, de réaliser un chargeur avec quelques composants de base. Il vaut mieux utiliser un **composant spécialisé** qui intégrera tous les paramètres de surveillances nécessaires à un bon déroulement de la charge, ou bien sûr acheter un chargeur spécialisé dans le commerce. Ceci est préférable pour la pérennité de vos éléments.



(1) Courant de charge rapide. Il doit être compris entre 0,5 et 1 In. Plus de 1 In risque de provoquer surchauffe et dégazage.
(2) Courant (0,2 à 0,3 In) de précharge dans le cas ou la tension de l'accu serait inférieure à 0,8V/él.
(3) Début de la charge rapide à partir d'une tension de 0,8 V/él environ.
(4) Détection de tension maximale à environ 1,8V/él.
(5) Détection du -dV/dt pour le passage en courant de charge permanent : 5 mV < -dV < 10 mV/él
(6) Détection du dT/dt pour le passage en courant de charge permanent : 1 à 2 °C/mn
(7) Détection de la température maximale à 50 à 60 °C suivant les éléments (voir doc fabricant)
(8) Délai de 10 mn pendant lequel la détection du -dV/dt est inibée pour ne pas déclencher en début de charge
(9) Courant de charge permanente 1/30ème à 1/20ème de In.
(10) Limiteur de temps de la précharge : 60 mn
(11) Limiteur de temps de la charge rapide : 90 mn
(12) Limiteur de temps total de charge : 10 à 20 heures.

33.3. Les accus au plomb

Tension nominale :
Tension d'un élément chargé au repos à 25°C : 2.1V/Elt. soit 12.6V pour la traditionnelle batterie dite de 12V. C'est ce que vous devez lire (à la précision de la mesure près) sur une batterie que vous avez chargée et ensuite débranchée pendant une nuit.

Tension de floating :
Tension à laquelle on peut maintenir en permanence un accu pour être sur qu'il soit chargé au moment où en a besoin **: 2.25 à 2.28/Elt. à 25°C**. Cette valeur devrait être corrigée de 0.005V en plus ou en moins par degré centigrade selon que la température descend ou monte. A -10°C c'est 2.36V et à +40°C 2.21V.
Vous devez aussi trouver sur les sites constructeur une abaque résumant ces valeurs.
Soit pour résumer : 14.6V à -10°C 13.6V à +25°C et 13.2V à +40°C.
Le terme floating est employé classiquement mais en bon Français, on devrait dire charge d'entretien.

Tension de recharge :

Tension maximum à laquelle on peut charger la batterie (mais pas la laisser en permanence) **. 2.3 à 2.4V/Elt toujours à 25°C** et avec le même coefficient de température de 0.005V/°C. Soit 13.8 à 14.4V pour un bloc 12V à 25°C.
Attention cette tension est une valeur maximum et que si votre chargeur n'est pas de bonne qualité (voir de qualité moyenne), il peut y avoir une ondulation résiduelle superposée à la tension continue due à un mauvais filtrage. La valeur de crête de cette ondulation résiduelle n'est visible qu'a l'oscilloscope et pas avec un multimètre et pourtant, c'est elle que la batterie « voit ».

Intensité de charge :
Une valeur facile à retenir est 1/5 de la capacité nominale en 20 heures. Donc pour la 12V/7Ah le maximum serait de 1.4A. En fait, si vous prenez la peine de regarder les notices constructeur c'est un peu plus, de l'ordre de 1.7A pour une 7Ah et par exemple 20A pour une 85Ah au lieu de 17 avec mon calcul des 1/5 de Cn.

34. Informations diverses :

34.1. Chargeurs réalisés par d'autres personnes :

http://erfred.free.fr/accusphp/chargeur/realisation/kits.php

Le Chargeur 'REFLEX' : http://rcsoaringmag.free.fr/
Le Chargeur CD1 de Francis Thobois : http ://home.nordnet.fr/~fthobois/CD1.htm

34.2. Cours et documentation

Un Site qui rassemble des adresses sur des cours et documentations dans les domaines de l'électronique, l'électrotechnique, la physique, les asservissements…
http://perso.wanadoo.fr/xcotton/electron/coursetdocs.htm
On peut trouver des informations intéressantes dans la rubrique Electronique de puissance / Conversion alternatif-continu et Conversion continu-continu.

34.3. Les alimentations à découpage

Un site qui traite d'une alimentation à découpage DC-DC élévateur de tension
www.enseirb.fr/~dondon/puissance/boost/ALIMBoost.html

34.4. Les ferrites

34.4.1. Ferrites de « FERROXCUBE »

J'ai trouvé un fichier pdf (7.8Mb) qui rassemble des informations sur les ferrites et autres informations sur le découpage, en anglais certes, mais très utiles :
www.ferroxcube.com

Dans « Product info », la rubrique « Data Handbook » permet d'accéder au chargement du fichier
"This 975-page Handbook gives detailed technical data sheets and additional information about our complete range of Soft Ferrite Cores & Accessories and EMI-suppression products."

34.4.2. Ferrites de « EPCOS »

www.epcos.com